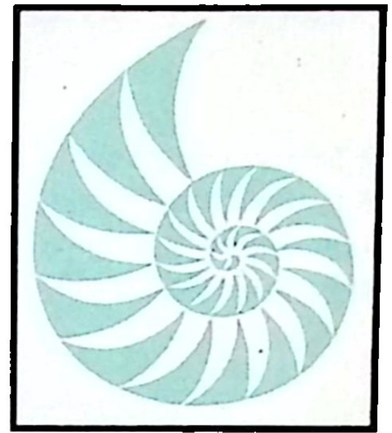




LŐRINCZE MIKLÓS RAJZAIVAL

A fedélterv Kolosváry Bálint munkája
A borítón: a víz felszínén sétáló rovar alatt így hajlik be rugalmasan a hajszálvékony felületi hártya. (A „hamis" színek felvétele polarizációs mikroszkóppal készült)

GREGUSS FERENC

Eleven találmányok

BEVEZETÉS A BIONIKÁBA

MÓRA KÖNYVKIADÓ

Harmadik kiadás

TARTALOM

Vissza a természethez

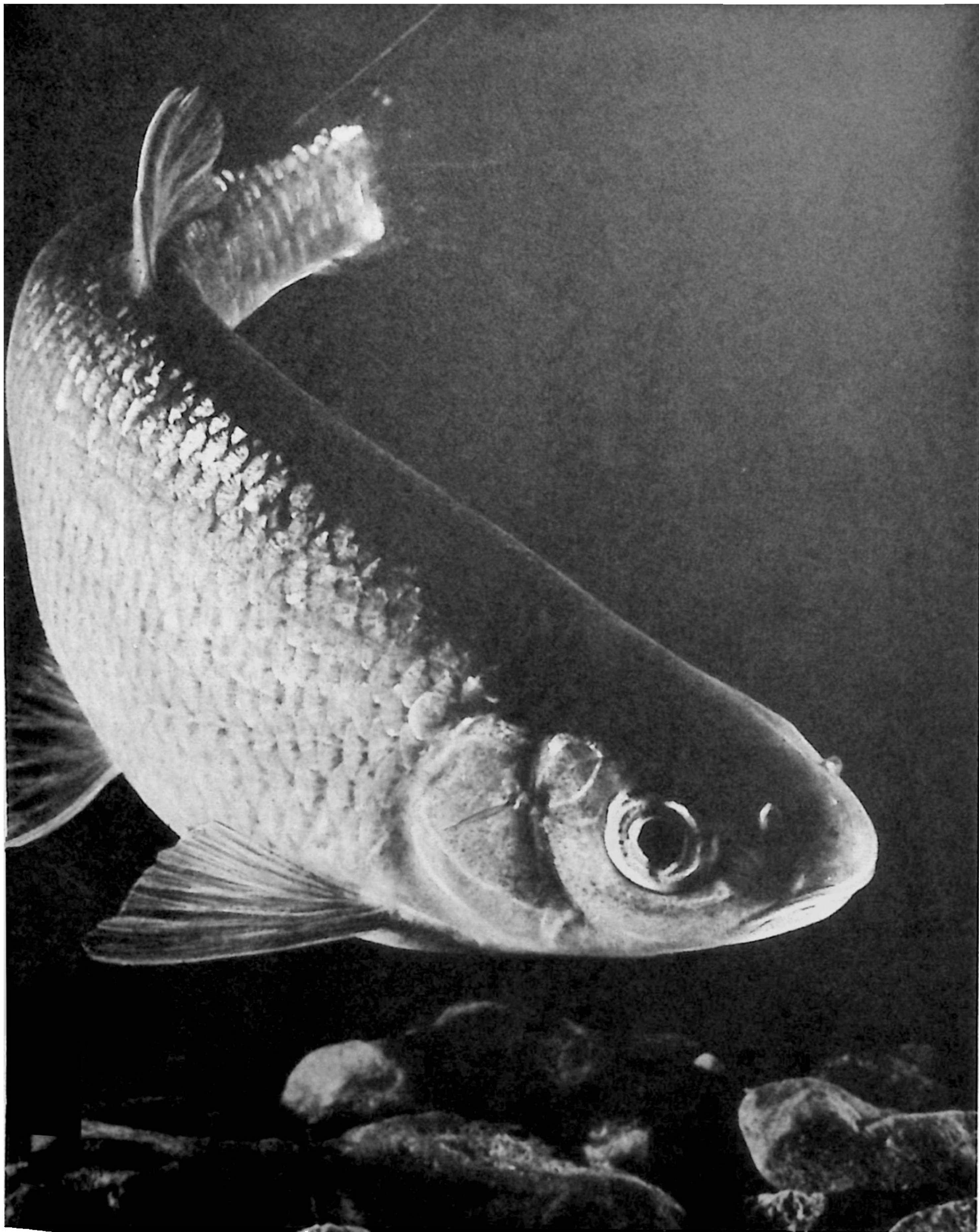
Egyszerűbb lett volna csak azt a címet adni könyvemnek: Bionika. De ki ismeri ezt a szót? Még a könyvtárosok többsége is tanácstalan, ha ebből a témakörből keres valaki idegen nyelvű könyvet. Pedig ez a kifejezés találóan jelzi, hogy olyan tudományágról van szó, amely a . iológia és a technika között teremt kapcsolatot. Igaz, maga a fogalom sem régi keletű. Noha a múlt század végén néhány műszaki alkotó már érdeklődéssel fordult a természet felé, a bionika csak akkor vált a tudomány világában is elfogadott kutatási irányzattá, amikor 1960 szeptemberében sor került az első bionikai konferenciára az Egyesült Államokban.

Azóta a kutatások egyre lendületesebben folynak világszerte, és évről évre nő a tudományos közlemények száma. A bionika nézőpontjából az élővilág eddig ismeretlen részletei és jelenségei tárultak fel. Ahogyan A. I. Berg szovjet akadémikus megfogalmazta: „A bionika feladata – a biológiai objektumok kutatása azzal a céllal, hogy korszerűsítsük a jelenlegi technikai rendszereket, vagy újakat, még tökéletesebbeket alkossunk az eredmények felhasználásával."

Rohanó korban élünk, amely mindinkább elszakít bennünket a természettől. A városi gyerek számára már nagy élmény, ha a mozi és a televízió képei után végre a valóságban is megpillant egy lovat. A technika bűvöletében az elvont fogalmak és az okos elektronikus számítógépek lassan elfeledtetik velünk, hogy a természet megfigyelése nyomán raktuk le ismereteink alapjait. A mérnök a gépvilág törvényei szerint kísérletezik, és keres új megoldásokat. Ideje kevés, de a legjobb eredményre törekszik. A természetben mindenre évmilliók álltak rendelkezésre a törzsfejlődés folyamán. G. Wald amerikai kutató találóan mutat rá erre a különbségre: „A műszaki tervezésben az ember tudja, mit akar elérni, és a célt olyan ügyességgel közelíti meg, amennyire csak képességei engedik. Az élő szervezet tervezésének folyamata viszont öröklött variációk szakadatlan sorából áll. A létért való küzdelem kigyomlálja azokat, amelyek kevésbé jól működnek, és előnyben részesíti azokat, amelyek jobban dolgoznak a további fejlődés szempontjából."

Az állatvilág szabadalmai tehát, amelyekről szó van e könyvben, csak emberi szempontból találmányok, mert a valóságban milliónyi változat természetes kiválogatódásának eredményeként jöttek létre. Tökéletességük számos esetben vitathatatlan, így kitűnő segítséget nyújtanak abban, hogy még jobban megértsük az élővilágot, és tudatosan válogassunk „ötletei" között a nehéz technikai feladatok megoldása érdekében. Könyvem egyrészt ebbe a kimeríthetetlen gazdagságú „találmányi hivatalba" vezeti el olvasóit, másrészt bemutatja a bionikai kutatások kamatozó hasznát a műszaki tervezésben.

A témakör persze annyira szerteágazó, hogy lehetetlen volt a bionika minden területére elkalandozni. Inkább arra törekedtem, hogy a külföldi tudományos folyóiratokban megjelent közlemények alapján olyan átfogó képet vázoljak fel, amelyen még alig száradt meg a festék. Egyes színei idővel talán megfakulnak, de más részletei újabb vizsgálatokkal tovább színezve, még világosabban bontakoznak ki. Aki a természet titkainak ebbe az újonnan feltárt világába pillant, bizonyára úgy érzi majd, mintha elvarázsolt kastélyban járna, ahol a rovarok a lábukon hordják a fülüket, a denevérek ultrahangon dúdolnak, és a halak időnként a levegőbe repülnek. S talán az olvasó is kedvet kap majd ahhoz, hogy saját maga induljon felfedező útra a természetben.



Eleven hullám a hullámok között a vízben úszó hal. Mozgása nehezen szorítható szigorú matematikai képletekbe. A sok próbálkozás ellenére sem sikerült még olyan hajlékony víz alatti járművet szerkeszteni, amely a halak mozgását utánozza

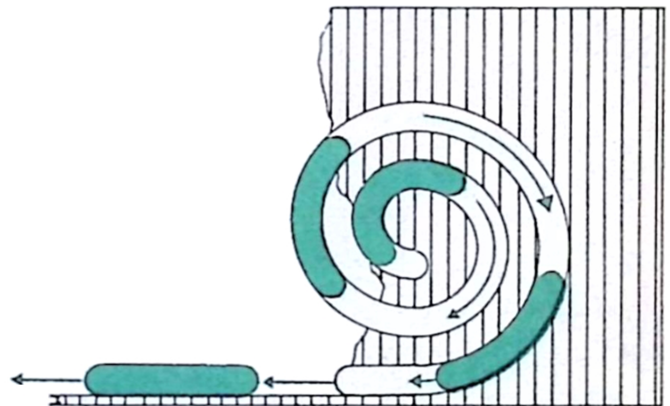
HALÁSSZUNK TENGERALATTJÁRÓKRA!

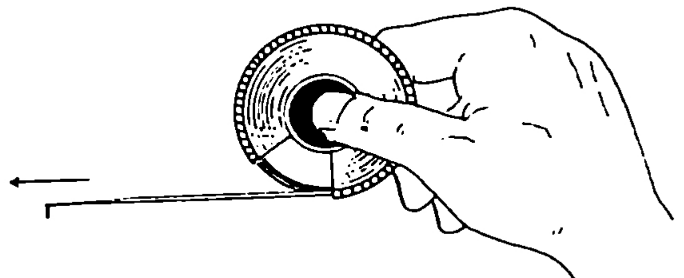
Ecuador partjainak közelében különös meglepetés érte az egyik szovjet halászhajót. Békésen ringott a vízen, amikor hirtelen megremegett a törzse, mintha torpedó fúródott volna az oldalába. A matrózok azonnal a hajófenékbe rohantak, hogy megkeressék a hibát. Legnagyobb meglepetésükre a beömlő vízben egy óriási kardhal roncsait fedezték fel. A későbbi vizsgálat kiderítette, hogy a víz alatt vadászó hal valószínűleg eltévesztette zsákmányát, így rohant a hajónak. Az élő torpedó mozgási energiája olyan hatalmas volt, hogy fogazott kardja átütötte a hajó 8 cm vastag oldalát, és 46 cm széles darabot szakított ki belőle. Bár a váratlan összeütközéskor a hal otthagyta a fogát, az állattan kutatóit az a szerencse érte, hogy újabb adatot kaptak a ragadozó halak rendkívüli úszóképességéről.

Pedig a halak nem is használnak körben forgó hajócsavart, és melluszonyukkal sem eveznek kitartóan, csupán kormányoznak. Aki megfigyelte egy akvárium kecsesen tovalibbenő halait, bizonyára eltűnődött, hogyan segíti elő a hal mozgását az S vonalban hullámzó test, és miért van szükség egyáltalán a test hajlítgatására. Talán a farokuszony egy-egy csapása ugyanúgy tolja előre az élő vízi járműveket, mint a csobbanó evezők a csónakot?

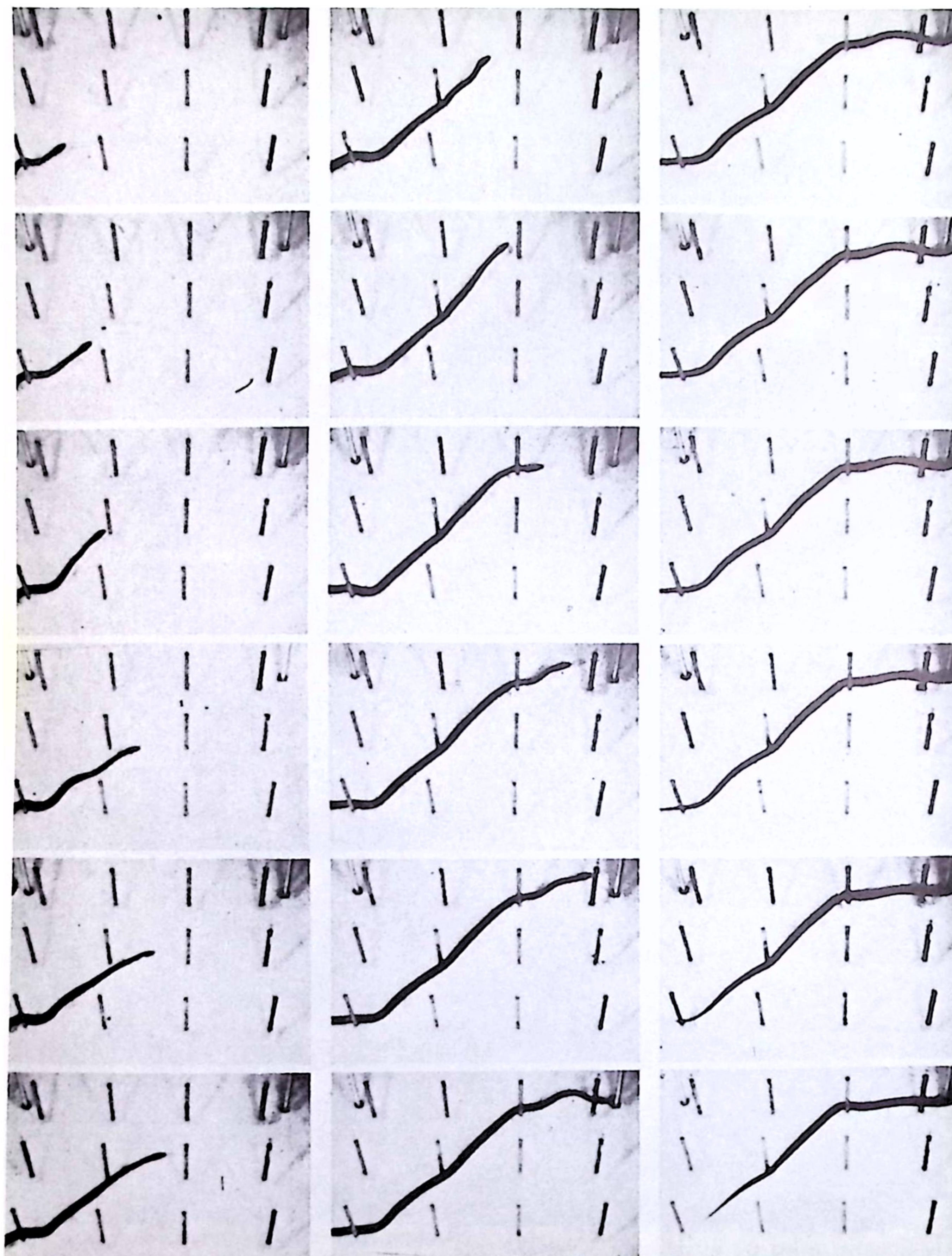
Az úszás bonyolult haladási forma. Titkát több mint fél évszázada igyekeznek megfejteni a kutatók, de csak a legutóbbi évtized hozott megoldást, amióta a biológusok mellett a matematikusok is hozzáláttak, hogy számok és képletek alakjában foglalják egységes rendszerbe a tarka forgatagban úszkáló vízi világ mozgásának fizikáját.

Az elméleti kutatások egy csavarvonalba hajlított szilárd csővel és egy meglepő kérdéssel kezdődtek: *ha azonos átmérőjű rugalmas rudat (például hajlékony műanyag pálcát) csúsztat valaki a csőbe, kijön-e magától a mozdulatlan rúd?*





A halak úszásának fizikai alapelve.
A meghajlított rugalmas rúd ki akar egyenesedni.
A benne rejlő energia mozgássá alakul át, így
a műanyagdarab kipattan az üvegcsőből.
A csavarvonalban feltekert mérőszalag szintén
ezért fut ki tartójából



A sikló hullámmozgása szögekkel kivert deszkán. A bal alsó sarokból a jobb felső felé halad. A filmkockák azt mutatják, hogy meghajlított teste a szögeknek támaszkodva csúszik előre

Erre már a XVIII. század fizikusai is válaszolhattak volna. Akkoriban állapították meg ugyanis azt az egyszerű, de bonyolultan hangzó szabályt, hogy „ha egy test változtatni tudja alakját és helyzetét, mindig arra törekszik, hogy a legkisebb helyzeti energiával rendelkezzék". A csőbe szorított hajlékony rúd esetében ez azt jelenti, hogy a rúd előbb-utóbb mégiscsak ki fog egyenesedni.

Ha nincs súrlódás a csőben, a rúd valóban útra kel. Abba az irányba indul, ahol egyre kisebb görbülettel találkozik, tehát ahol egyre jobban kiegyenesedhet. Mindez a másodperc törtrésze alatt megy végbe: a rúd szinte kipattan a csőből, ahogyan az acél mérőszalag is egyetlen gombnyomásra kiszalad tokjából.

De mi történik, ha hullám alakú csövet választunk? (Ezt a szabályos görbét sinusvonalnak nevezik a matematikusok, és még sokszor találkozunk majd vele.) A belecsúsztatott hajlékony rúd a legnagyobb görbületű szakaszból, a hullám csúcsából azonnal továbbsiklik a kiegyenesedő ág felé. De innen már nem mozdul tovább. Ismét előre kell tolni a következő csúcsig, amíg teljesen be nem feszül, majd a következő pillanatban ismét továbbpattan.

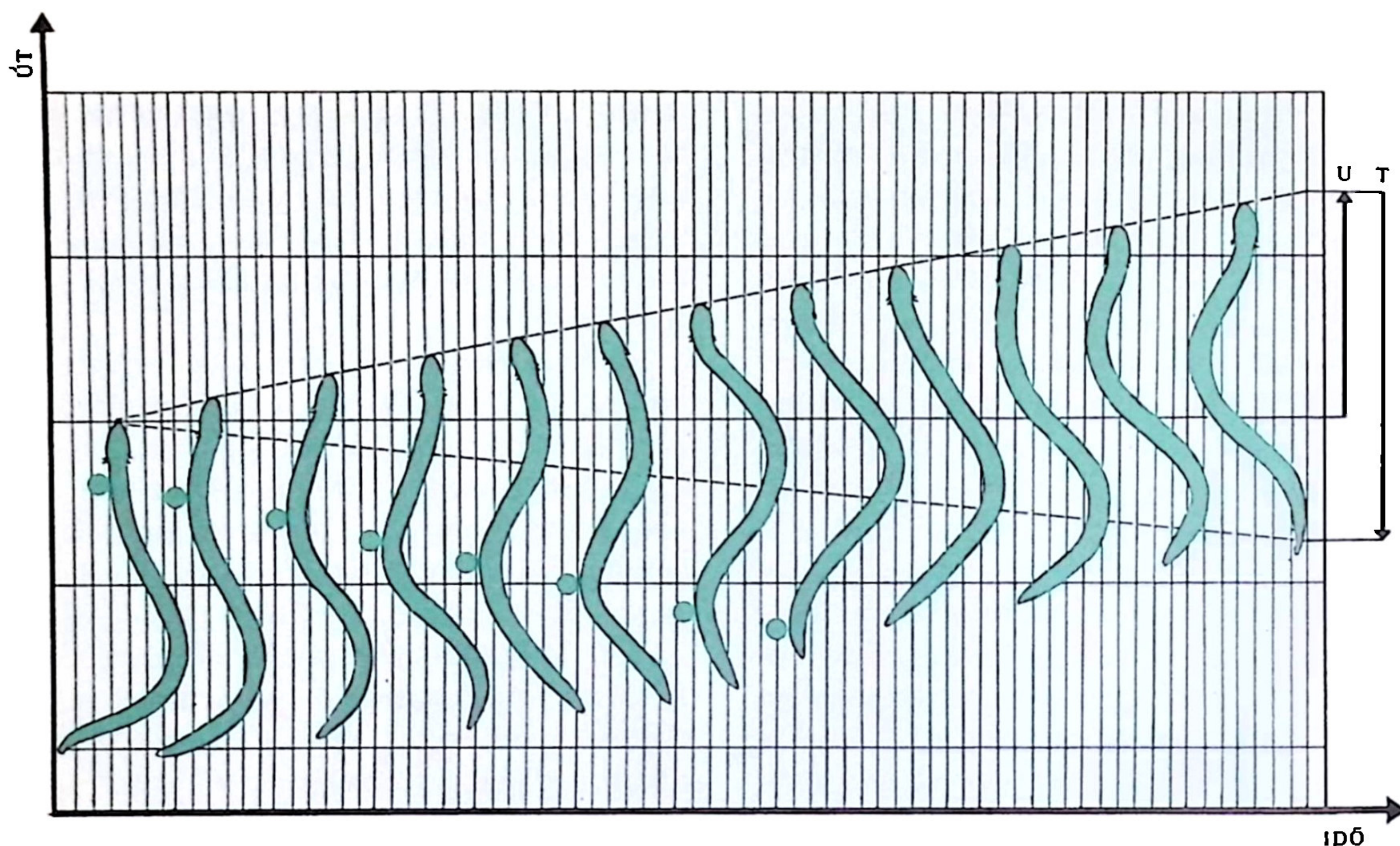
S ha egy siklót helyezünk a hullám alakú csőbe? Amire az élettelen rúd nem képes, hajlékony testével játszva megteszi az állat. Csak a hullám csúcsaiban feszíti meg izmait, így kissé előbbre csúszik. Ekkor testének megint azokat a szakaszait igyekszik kiegyenesíteni, amelyek éppen a hullámcsúcsokban vannak, megint előresiklik. Minthogy izmainak összehúzódási helyeit folyamatosan tolja testén egyre hátrább, egyúttal folyamatosan halad előre. Ehhez voltaképpen hullám alakú csőre sincs szükség. Szögekkel kivert deszkalapon is könnyedén halad. Ilyenkor a szögek nyújtanak támaszt testének, de a lényeg ugyanaz marad: izmainak játéka révén a sikló teste úgy hajladozik, mintha egyre újabb hullámok haladnának végig rajta. Ez a hátrafelé haladó hullám hajtja előre az állatot.

Hogyan érvényesül ez a mozgási szabály a halakon? A víz – ha lágyabban is – ugyanúgy ellenállást jelent a sikló vagy az angolna hullámmozgásával szemben, mint egy szilárd cső vagy egy szögekkel kivert deszkalap. Így a vizek világának alacsonyabb fejlettségű tagjai hajlékony hullámként siklanak előre. H. J. Lighthill angol kutató megállapítása szerint ezt a jellegzetes, angolnaszerű úszást alkalmazza a gerinctelenek többsége és a gerinces víziállatok egy része is. „Hullámúszással" közlekednek például a tüdőshalak, mert ez a legegyszerűbb úszási forma.

Hajlékony evezők

Gyorsfelvevő kamerákkal készült filmkockákon meglepően tárul fel a különös hullámmozgás titka. Egy úszó angolnáról 0,1 másodperces időközökben készített felvételekről készült rajzunkon megfigyelhető, hogy az állat teste valóban hullámzik. Ahogy az angolna siklik előre, a testhullám éppen ellenkező irányban vonul végig rajta.

A testhullám mindig gyorsabban fut visszafelé, mint ahogy a hal halad előre. A két sebesség közötti különbség annál kisebb, minél eredményesebben alakítja át testének helyzeti energiáját mozgási energiává. A mérések szerint az angolna úszási sebessége kb. 60 százalékkal kisebb a látszólagos hulláménál, amely saját testének könnyed hajlítgatása révén halad visszafelé rajta. A hullámúszással tehát nem érhetők el nagy sebességek, de hosz-



A közönséges angolna hullámúszásának 0,1 másodpercenkénti mozgásszakaszai. A filmkockák alapján készült rajz jól érzékelteti, hogy ezen a hajlékony „cipőfűzőn" mindig gyorsabban futnak hátrafelé a testhullámok (T), mint amilyen sebességgel ő maga úszik előre (U)

szú távra a test energiakészleteinek felhasználása szempontjából ez rendkívül gazdaságos úszási forma. Ezért indulhatnak messzi vándorútra az óceánokon az angolna alakú halak.

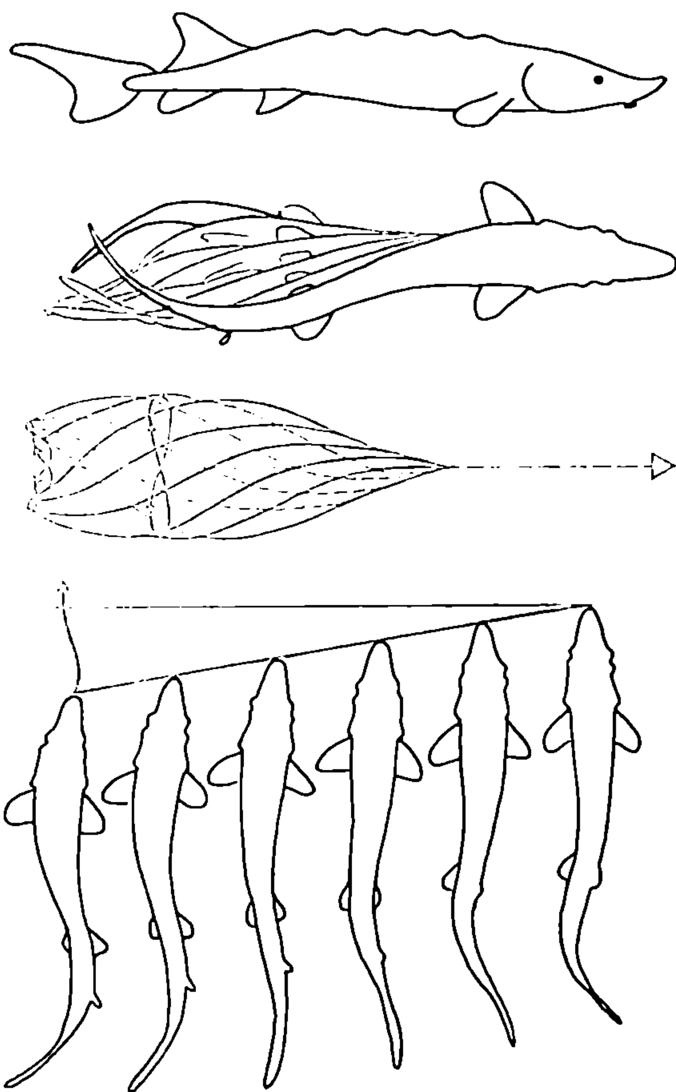
A törzsfejlődés során az angolnára jellemző hengeres testalkat fokozatosan megváltozott. Az úgynevezett csontoshalak rendjében a két oldalról lapított, orsó alakú test a farok felé elhegyesedik, így úszás közben kisebb a víz ellenállása. De a hullámúszáshoz szükség van a test eredeti szélességű keresztmetszetére, hiszen úszás közben ez a szalag rugaszkodik el a víztől. Az összenyomódott farok helyén tehát vékony uszonyok jelennek meg a háton és a hason: a farok függőleges „kormánysíkká" változik.

A halak törzsfejlődésének szerteágazó családfáján ugyanakkor érdekes változás figyelhető meg. Egyre merevebbé válik a hal teste! Úszás közben csak a farokrész mozog, a teljes testhossz fele-harmada. Az angolnák testhullámából így egy negyedhullám marad: a test felezőpontja mozdulatlan, de a farok a hullám csúcsába csap. Ezzel a hirtelen „hullámlökéssel" roppant oldalerők ébrednek a hal farkán.

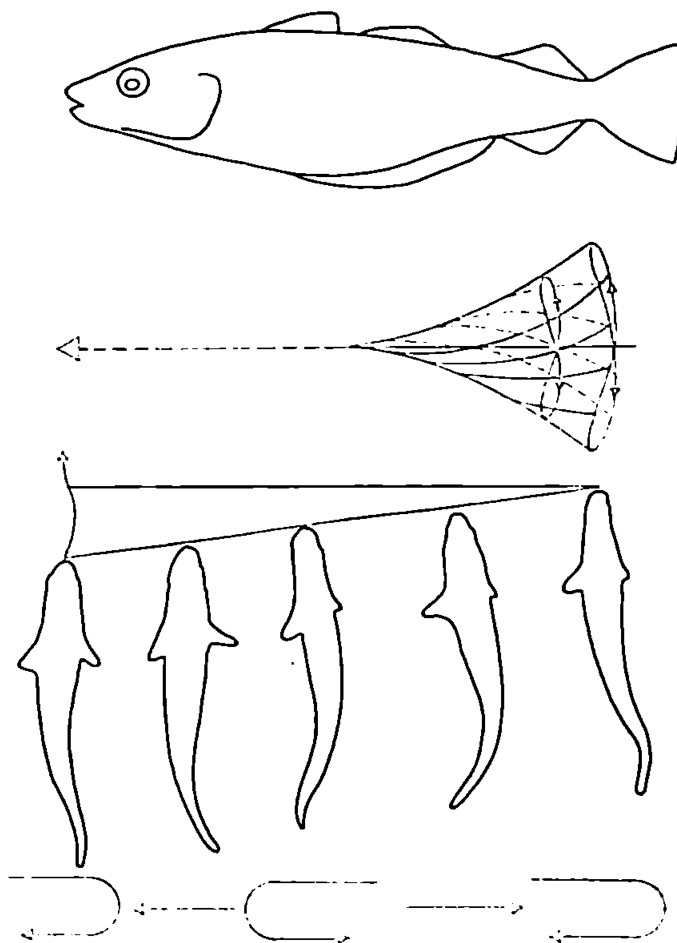
A matematikai számítások szerint főként ez a farokcsapás határozza meg a halak úszási képességét. Ettől függ, hogy lassan, de kitartóan úsznak-e, vagy sebesen, de nem sokáig. Összehasonlították a farok oldalirányú mozgásának sebességét egy elméleti „vízszelet" elmozdulási sebességével, amelyet az oldalra lendülő halfarok taszít félre. Pontos összefüggést kaptak: minél nagyobb a halfarok és a vízszelet sebességkülönbsége, annál nagyobb tolóerőt fejt ki a hal, tehát annál gyorsabban úszhat. Ha viszont a farok ütése lassan tolja félre a vizet, a hal „simábban", kisebb erőpazarlással úszik.

Az oldalirányú ütőerő nagyságát a farokuszony területe is befolyásolja. Minél nagyobb, annál több erőt fejthet ki, ahogyan a nagyobb felületű evező is jobban húzza a csónakot. Miért keskenyedik mégis a farok felé a legtöbb hal alakja, mint a tőr? Hiszen ha a test hátrafelé szélesedne, még nagyobb erővel csaphatná oldalirányba a vizet! A vízi világban mégsem található ilyen megoldás.

A farok kitérései közben ugyanis örvények keletkeznek. Ezek a parányi pergő örvények a hal mozgási energiájából táplálkoznak, csökkentik haladási sebességét. A haltest keskenyedő alakja éppen ezt a zavaró „közjátékot" küszöböli ki. Amikor a farok oldalra lendül, legnagyobb sebességű darabjának felületén – ahol legkeskenyebb a test – hirtelen lecsökken az ütőerő, így kevesebb örvény keletkezik. Ettől távolabb, a kiszélesedő farokuszony már nem kelt nagy örvényeket, mert mindig a csapással ellentétes ívben hajlik.



A közönséges tok hullámúszása. Teste elkeskenyedik a farok felé, így kisebb ellenállással halad, mint az angolna. A hullámkeltéshez szükséges felületet a kettős farokuszony pótolja. Testhosszának kétharmadán csaknem teljes sinushullám keletkezik (fent). Úszásának mozgásszakaszai között 1/4 mp volt az időkülönbség



A tőkehal csak farokcsapásokkal úszik. Az oldalra lendülő farokuszony negyedhullámot kelt, ami azt jelzi, hogy ez a halfaj gyors úszásra is képes, de nem kitartóan (fent). A mozdulatrajzok egy farokcsapás szakaszait jelzik a farok mozgásának irányával. Az ötödik mozdulat egy új farokcsapás kezdete

A hátuszony sem véletlenül helyezkedik el a test közepe táján. A farokcsapások nagy oldalerőit ellensúlyozza, ezért tud nyílegyenesen úszni a hal. Fontos feladat jut a kétoldalt alul elhelyezkedő melluszonyoknak is: ezek elsősorban a hirtelen irányváltoztatásban nyújtanak segítséget. Különösen nagy szükségük van erre a „gyors járatú" halaknak, mert a vízben sokkal nehezebb fékezni, mint a szárazföldön. Sokan csodálkoznak, ha két hajó összeütközik a tengeren: hogy lehet ez, hiszen a víztükör végtelen. Csakhogy néha a hajók útvonala keresztezi egymást, s amikor észreveszik a bajt, már nincs segítség. Egy félmillió tonnás teherhajó lefékezéséhez több mint 8 kilométeres útszakaszra van szükség! Ennél kisebb távolságon belül tehetetlenül egymásba rohannak. Ám a halakat nem érheti ilyen katasztrófa. Ha nagy sebességgel úszva váratlan akadály kerül útjukba, hirtelen szétfeszítik melluszonyaikat. A „féklapok" pillanatok alatt megtörik az úszás lendületét, s a hal egy újabb farokcsapással már új irányban libbenhet tova.

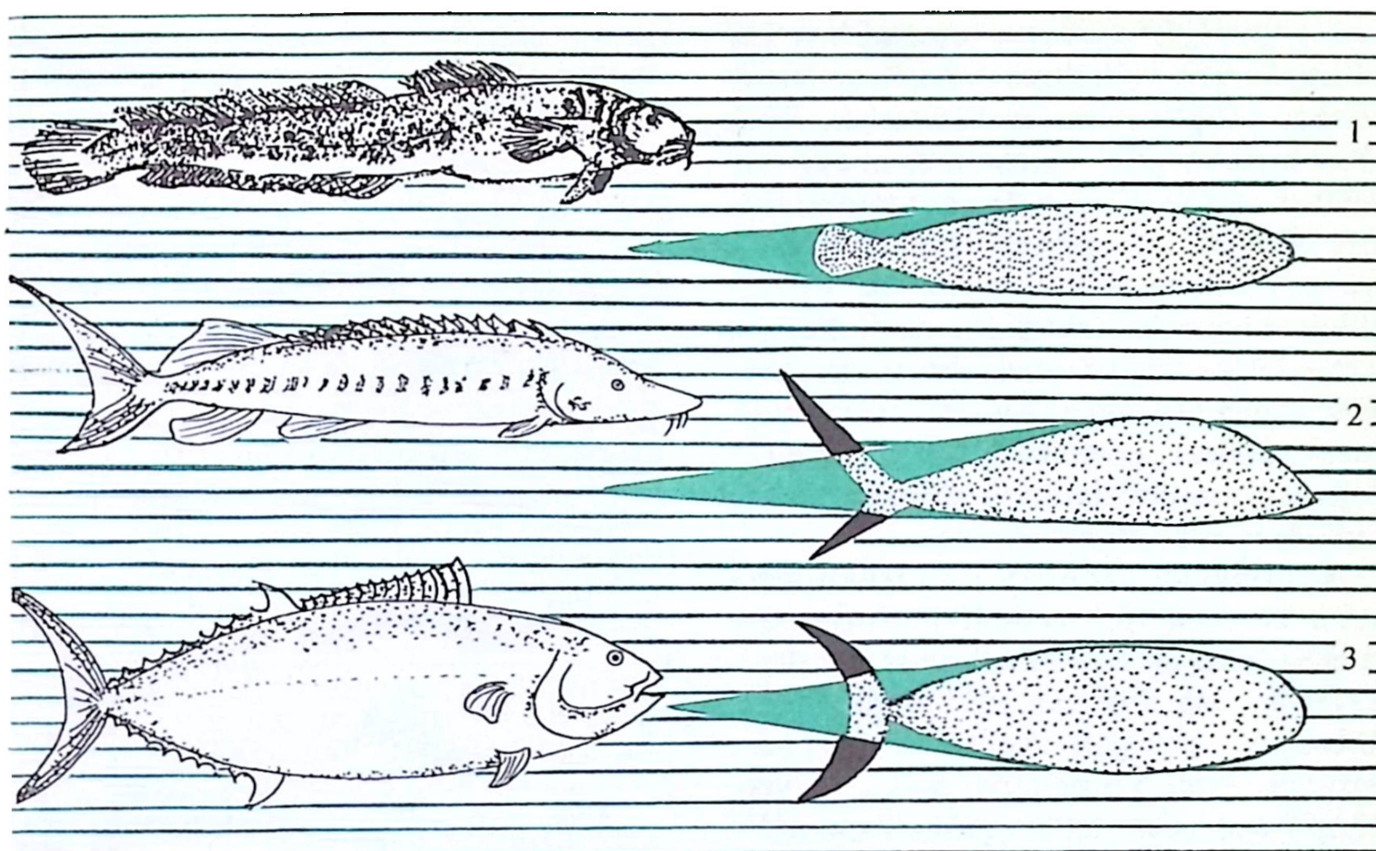
Libegő körgallér

„Ahány halfaj – annyi farok." Szinte közmondásnak is beillene ez a régi megállapítás, amely sok fejtörést okozott már a bionika kutatóinak. A gazdag választék a kerek, ovális farokuszonyoktól a villás alakúakig terjed. Honnan ez a nagy különbség? Hosszas keresés után végül a repüléstechnikai összehasonlító vizsgálatok világítottak rá az első törvényszerűségre. Ahogy a hangsebességnél gyorsabb szuperszonikus gépek csak hátranyilazott szárnyakkal repülhetnek az óriási légellenállás miatt, ugyanez az alakváltozás következett be a „tökéletesedő" halak farokuszonyán is. A törzsfejlődés során csak úgy fokozhatták úszási sebességüket, hogy farokuszonyuk lassan hátrahajlott, mint a holdsarló, majd teljesen felvette a szuperszonikus repülők jellegzetes szárny alakját.

A nagy sebességű halakon a farokuszony előtt szinte tökéletes kúppá hegyesedik a test (a nagy farokcsapások keltette örvények elkerülése miatt), az uszony viszont nagy felületű evezőlapáttá szélesedik. A farokuszony elülső éle azonban nem olyan borotvaéles, mint ahogy azt várnánk. Inkább vastag és lekerekített, mégis könnyedén hasítja a vizet. Erre az áramlástani mérések adnak magyarázatot: a repülőgépszárnyak „belépőéle" annál kevesebb örvényt kelt, minél leke-



Nyilazott repülőgépszárnyra emlékeztet a bálna farka. A bionika szerint ez a gyorsúszási képesség egyik biztos jele. A vízi világ emlősállatainak farka a halakétól eltérően vízszintes helyzetben leng



Csapnivalóan rossz kormányos a menyhal (1), mert farokuszonya abba az örvényzónába esik, amely úszás közben a test mögött keletkezik. A közönséges tok (2) hátranyilazott farka és a tonhal (3) sarló alakú „kormánylemeze" sokkal pontosabb irányításra nyújt lehetőséget

rekítettebb. Ez figyelhető meg a gyors tengeri halak farokuszonyain is.

Ilyen „gyorsúszók" például a tonhalak, a kardhalak és általában a nagy testű ragadozók, amelyek számára létkérdés, hogy könnyen utolérjék a menekülő zsákmányt. Noha a delfinek emlősállatok, úszásuk a halakéhoz hasonló, és farokuszonyuk alakja alapján a gyorsúszók közé sorolhatók egy furcsa különbséggel: „evezőjük" nem függőleges, hanem vízszintes, így úszás közben hol felfelé, hol lefelé csap. Hogy miért fordult el a törzsfejlődés során a farkuk? Ezt még ma sem tudjuk. Talán a bionika erre is választ talál a jövőben.

A halfarok azonban nemcsak egy hajó pergő propellerét helyettesíti, hanem a kormánylapátot is. A kormányzás és a farokuszony alakja közötti összefüggésre J. G. Alejev szovjet biológus figyelt fel elsőnek, amikor a folyami menyhal úszását tanulmányozta. Érthetetlennek tűnt számára, miért van korong alakú farokuszonya ennek a halnak. A vízcsatornás kísérletek során megoldódott a rejtély. Azokon a halakon található ilyen farokuszony, amelyek „lassú járatúak", akár a folyami vontatóhajók. Nincs szükségük gyors irányváltásokra, ezért a legegyszerűbb kormánylemezt használják. Minthogy ez a farok végéről leszakadó örvények zónájában helyezkedik el, elég bizonytalan vele a kormányzás. A tonhal és a cápa farokuszonya viszont annyira széles, hogy messze kinyúlik az örvényrétegből, így tökéletes kormánylapátként használható.

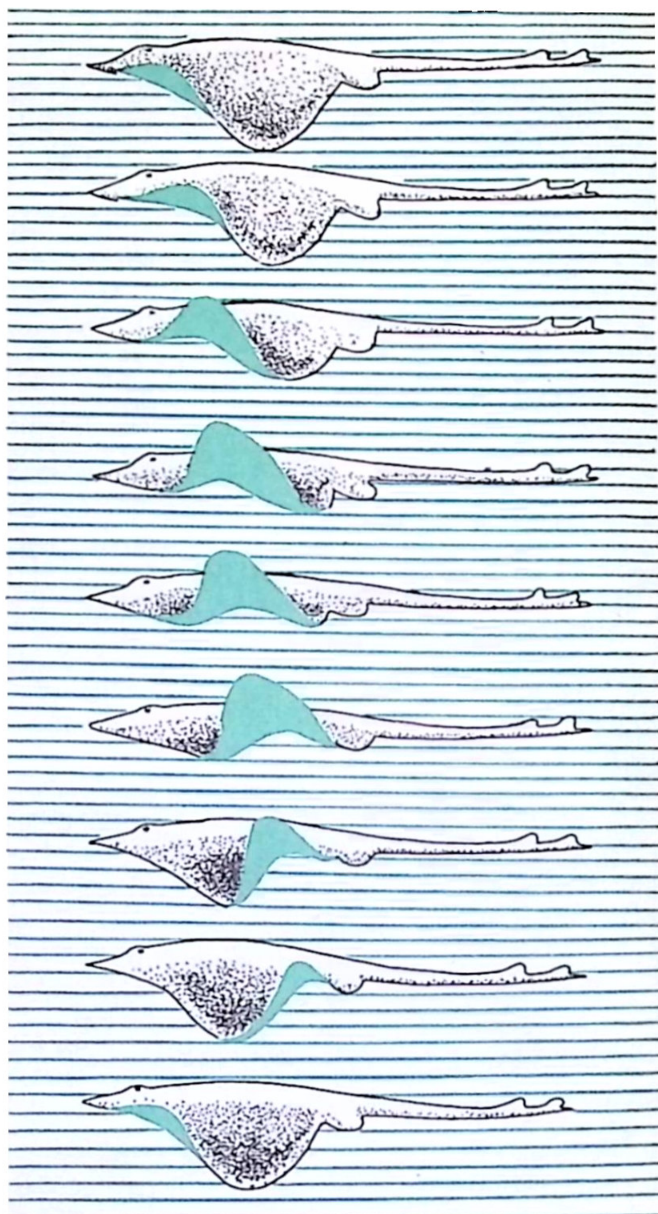
Még egy érdekesség figyelhető meg a cápák és a tonhalak függőleges farok-

uszonyán: a felső szárny nagyobb, mint az alsó. Nem véletlenül! Amikor úszás közben jobbra-balra leng a farok, felső része kissé megdől a vízben, mint egy ferdén tartott evezőlapát. Így nemcsak tolóerő, hanem felhajtóerő is ébred rajta. Az úszóhólyag nélküli halaknak szükségük is van erre a „trükkre", máskülönben úszás közben egyre mélyebbre merülnének. Apró szárnyakká merevedett melluszonyaikkal is a felhajtóerőt fokozzák. A gyors járatú víziállatok valóságos úszó repülőgépekre emlékeztetnek.

A természet azonban más lehetőségeket is kipróbált a törzsfejlődés folyamán. A gitáros halak óriási melluszonyt fejlesztettek ki, így alig van szükségük farokuszonyra, a ráják melluszonya pedig egyetlen óriás körgallérrá alakulva végképp feleslegessé tette legtöbb fajuknál a farokuszonyt. Ezek az élő csészealjak lényegében a függőleges hullámúszást alkalmazzák, vízszintesen lebegő korong alakú testükön a hátrahaladó hullámok termelik a tolóerőt. Rendszerint a parti vizek homokjában várják gyanútlan áldozatukat, a támadáshoz tehát valóban ez a legelőnyösebb közlekedési forma számukra, máskülönben csak akkor kezdhetnének úszni, ha előbb „élére" állítanák testüket.

A halak úszástípusainak sorát a sima lepényhal zárja. Ez a fél méter átmérőjű, kerek hal fiatalkorában még függőleges síkban úszik, angolnaszerű hullámmozgással. Fejlődésének bizonyos szakaszában azonban oldalára fordul, s ettől kezdve csak a fenéken mászik és vadászik. Alulra került szeme felvándorol, s olyan furcsa lesz a tekintete, hogy ennél bánatosabb „arckifejezést" alig találni a vizek világában. Ettől kezdve úszó mozgása is teljesen a rájákéhoz hasonul.

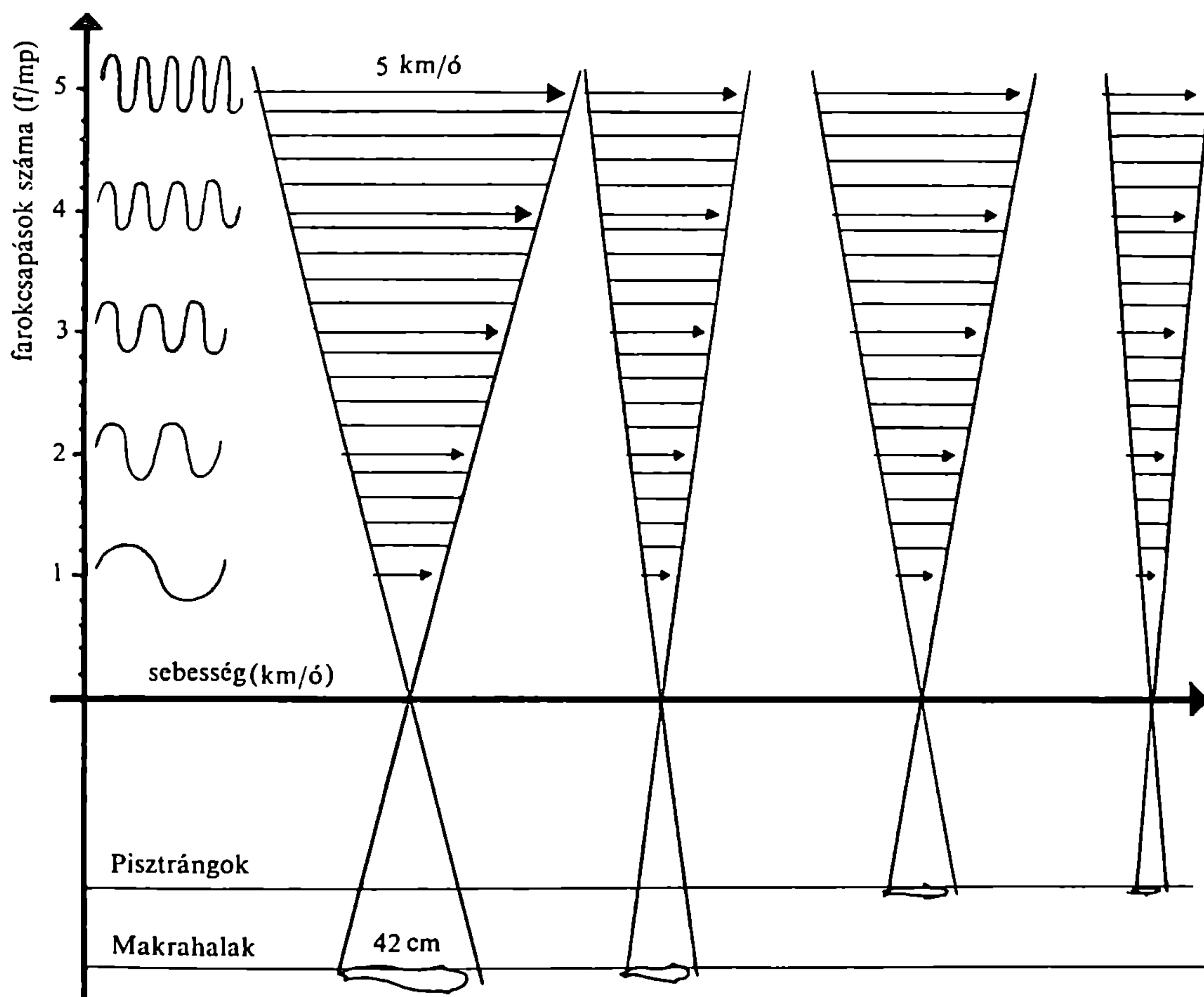
Ahogyan egy gépkocsi vagy egy repülőgép alakjából következtetni tudunk se-



A rája olyan ügyesen lengeti „körgallérját", hogy a hátrafelé haladó függőleges testhullámok könnyedén hajtják előre

bességére, a hidrodinamikai vizsgálatok tanúsága szerint ugyanígy elég egy pillantást vetni bármely halra, s máris fogalmat alkothatunk úszási képességeiről. Egy hal kétségtelenül annál gyorsabban úszik, minél „nyilazottabb" a farokuszonya, minél áramvonalasabb a teste, minél keskenyebb a törzse a farokuszony előtt, és minél kisebb a hátuszonya. De van még egy döntő szempont! A haladási sebesség a testhosszal és a farokcsapások szá-

mával is összefügg. Sz. V. Persin szovjet kutató mérései szerint általában az angolnaszerűen úszó halak – amelyek akár két méter hosszúságot is elérhetnek – legfeljebb 10 km/óra sebességre tehetnek szert; a farokcsapásokkal haladók viszont, ha több mint egy méter hosszúak, elvileg 150 km/óra sebességgel szelhetik a vizet. R. Bainbridge, aki több halfaj úszását is megvizsgálta, gyorsfényképező kameráinak filmfelvételeit elemezve megállapította, hogy azonos sebességek elérésekor a halak farokcsapásainak száma és testhosszuk fordítottan arányos egymással. De a rekordok szempontjából mindenképpen a testhossz a döntő! Egy 4 cm hosszú pisztráng hiába lengeti másodpercenként 18-szor a farkát, a parányi állat csak 2,3 km/óra sebességet ér el. Ez arra sem elég, hogy egy folyóparti gyalogost lehagyjon. A heringek és a tonhalak viszont, amelyek testhossza meghaladhatja az egy métert, másodpercenként tíz farokcsapással több mint 70 km/óra sebes-



Szinte mérnöki pontossággal működnek a halak „hajtómotorjai". Matematikai összefüggés mutatható ki hosszúságuk, farokcsapásaik száma és úszási sebességük között, így minden halfaj „sebességollója" felrajzolható. Ennek két alsó szára közé helyezve a halat, leolvasható a táblázatból, miként függ az úszási sebesség a farokcsapások számától. A pisztrángok rövidebb nyelű sebességollója azt jelzi, hogy ez a halfaj jobb úszó, mint a makrahalak

4,7 km/ó
pirosszemű kele (22 cm)
5,3 km/ó
csuka (20 cm)
6,1 km/ó
aranykárász (13 cm)
8,9 km/ó
ragadozó ön (20 cm)
10 km/ó
pisztráng (29 cm)
18 km/ó
kék cápa (150 cm)
32 km/ó
bálna (2750 cm)
36 km/ó
delfin (200 cm)
44 km/ó
barrakuda (120 cm)

Néhány hiteles úszási sebesség James Gray angol professzor összeállítása szerint. A csúcstartók között a kardhalfélék és a vitorláshalak családjának tagjait tartják számon a kutatók. V. P. Szocsivko szovjet szakember adatai szerint több méteres példányaik 120–150 km/óra sebességet is elérnek

ségre gyorsulhatnak. A tonhal tehát ugyanúgy megérdemelné a Kék Szalag-díjat, mint a világ leggyorsabb utasszállító hajója, a *United States* óceánjáró, amely 70 km/óra csúcssebességgel nyerte az Atlanti-óceán átszelésére meghirdetett gyorsasági versenyt.

Általában nem könnyű a halak úszási csúcssebességének megállapítása, ezért szerepelnek a különböző könyvekben

szokszor teljesen eltérő adatok. Ha egy hal kitartóan követi a sebesen úszó hajót, még könnyű a mérés. Szovjet kutatók viszont néhány évvel ezelőtt a folyami menyhal úszási sebességének tanulmányozására érdekes módszert próbáltak ki. Apró, 25 gramm súlyú elektronikus készüléket helyeztek a kifogott hal hátára, majd újra vízbe bocsátották. A készülék számunkra hallhatatlan ultrahangokat bocsátott ki, így a folyópart mentén megfelelő mikrofonnal pontosan követni tudták a halat. Kiderült, hogy a folyami menyhal úszási sebessége a napszakok szerint változik. Napközben szinte alig úszik, naplemente után viszont mozgása egyre élénkebbé válik, de sohasem haladja meg az óránkénti 600 métert.

A másik mérési módszer: vízzel telt átlátszó tartályba helyezik a halat, majd egyre nagyobb sebességgel forgatják a korong alakú hengert. Amikor felülről nézve úgy tűnik, hogy a hal egy helyben mozog, úszási sebessége éppen a tartály forgási sebességével egyezik. Két angol kutató így mérte meg, hogy egy 55 cm hosszúságú tőkehal például 7,2 km/óra sebességet érhet el, a tengeri pisztrángok pedig több mint tíz kilométeres óránkénti sebességgel haladhatnak.

A rekorderek között a kardhalat, a vitorláshalat és a barrakudát tartják számon a kutatók 120–150 km/óra sebességgel. Ez már valóban szédítő tempó a víz alatt, hiszen a korszerű atom-tengeralattjárók is legfeljebb 45–50 km/óra sebességet érhetnek el. De ezeket az úszási adatokat még nem ellenőrizték laboratóriumi körülmények között. Annyi bizonyos, hogy a halak különleges nyálkával is csökkentik testükön a víz súrlódását. M. W. Rosen és N. E. Cornford amerikai kutatók különböző mennyiségű vízben oldották fel a halak bőréről lekapart nyúlós anyagot, és megfelelő műszerrel mérték a víz áramlási sebességét. Így lepleződött le a barrakuda titka. Ez a csendes-óceáni ragadozó hal 66 százalékkal képes csökkenteni testének súrlódási ellenállását a vízben. Minthogy a nem ragadozó halak esetében ez az érték kisebb, nem csoda, hogy e találmány is hozzájárul a sikeres zsákmányszerzéshez.

Mire tanítottak a halak?

Az orsó formájú, merev tengeralattjárók alakja nem nagyon emlékeztet a „gyors járatú" halakéra, de a bionikusok már több kísérletet tettek, hogy lemásolják



Még a repülőgép-tervezők is tanulhatnának a halaktól. Ha például a 40 méter hosszú Boeing–707 típusú gépet a tonhal alakjáról mintáznák, 160 helyett 480 utas férne el benne, és aerodinamikai tulajdonságai is kedvezőbbek lennének (fent). A helyből felszálló gépet az oldalából kinyúló sugárhajtású motorok emelnék a magasba (lent). A modelleket H. Hertel berlini professzor tervezte

ezeket az élő vízi járműveket. Az amerikai *Skipjack* atomhajtású tengeralattjárót pontosan a tonhal mintájára tervezték. Gondosan ügyeltek arra, hogy teljes hosszának és legnagyobb átmérőjének aránya 100:36 legyen, ami eszményi áramvonalat ad a hajótestnek. De a tonhaléhoz képest csak feleakkora sebességet sikerült elérniük. A fordulékonyság terén viszont kiváló tulajdonságokra tett szert az új tengeralattjáró. Egy nagyobb hajó általában saját hosszánál 4–5-ször nagyobb sugarú körben képes megfordulni, a *Skipjack* még nagy sebességgel haladva is hirtelen változtathat irányt, és kisebb sugarú körben fordul meg.



Épül a *Gazana* nevű angol gáztartályhajó. A 178 méter hosszú jármű orra hatalmas körteként dudorodik ki a hajótestből. Ez a szerkezeti megoldás lényegesen csökkenti a hullámellenállást

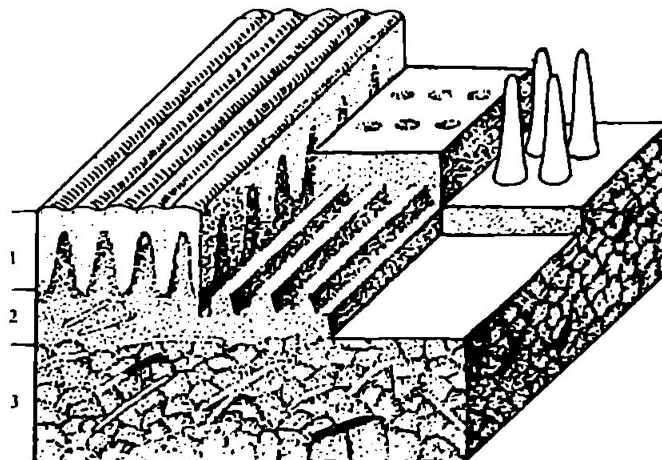
A hajótervezők azt a felismerést is hasznosították, hogy nem véletlenül tompa a nagyobb sebességű víziállatok „orra". Furcsa módon ez kisebb hullámellenállást kelt a vízben, főként akkor, ha az állat a vízfelszín közelében úszik. A világon először Japánban készítettek olyan „körteorrú" hajót, amely egy hasonló típusú, de hagyományos hajóhoz viszonyítva több mint 50 százalékkal gyorsabban halad. Ma már egyre több hajót építenek ezzel a hullámtörő megoldással, s ha a tv-híradó új tengerjáró vízre bocsátását mutatja, bizonyára ott látjuk majd az orrtőke alján a jellegzetes kidudorodást. Több tervező a csapkodó halfarok mozgását próbálta utánozni mechanikus szerkezettel. Készült olyan csónak is, amelyen evezők helyett hajlékony kormánylapát rúdját kell jobbra-balra mozgatni, így keletkezik a tolóerő a vízben.

Nem lehetetlen, hogy a szárnyashajók ötletét a cápák tanulmányozásából merítették a mérnökök. Ahogyan a cápa merev melluszonyain jelentős felhajtóerő keletkezik, ugyanúgy egy súlyos hajótestet is a víz fölé emelhet néhány apró, merev szárny. Ha a hajó elér bizonyos sebességet, a víz alatti szárnyakra támaszkodva teste kiemelkedik a vízből, így sokkal kisebb ellenállással haladhat tovább. A szovjet szárnyashajók közül a Dunán is közlekedő Sirály 60 km/óra sebességgel száguld, a Volga és a Rakéta típusú hajók pedig 80–90 km/óra sebességet is elérhetnek.

Csaknem negyven évvel ezelőtt a híressé vált Gray-paradoxon irányította először a bionikusok figyelmét a delfinek felé. Az angol kutató ugyanis megállapította, hogy a delfinek furcsa módon nagyobb sebességet érnek el, mint amennyi izomerejük alapján várható. Az ellentmondás nyomán a delfinbőrre terelődött a gyanú. A mikroszkópos vizsgálatok sze-

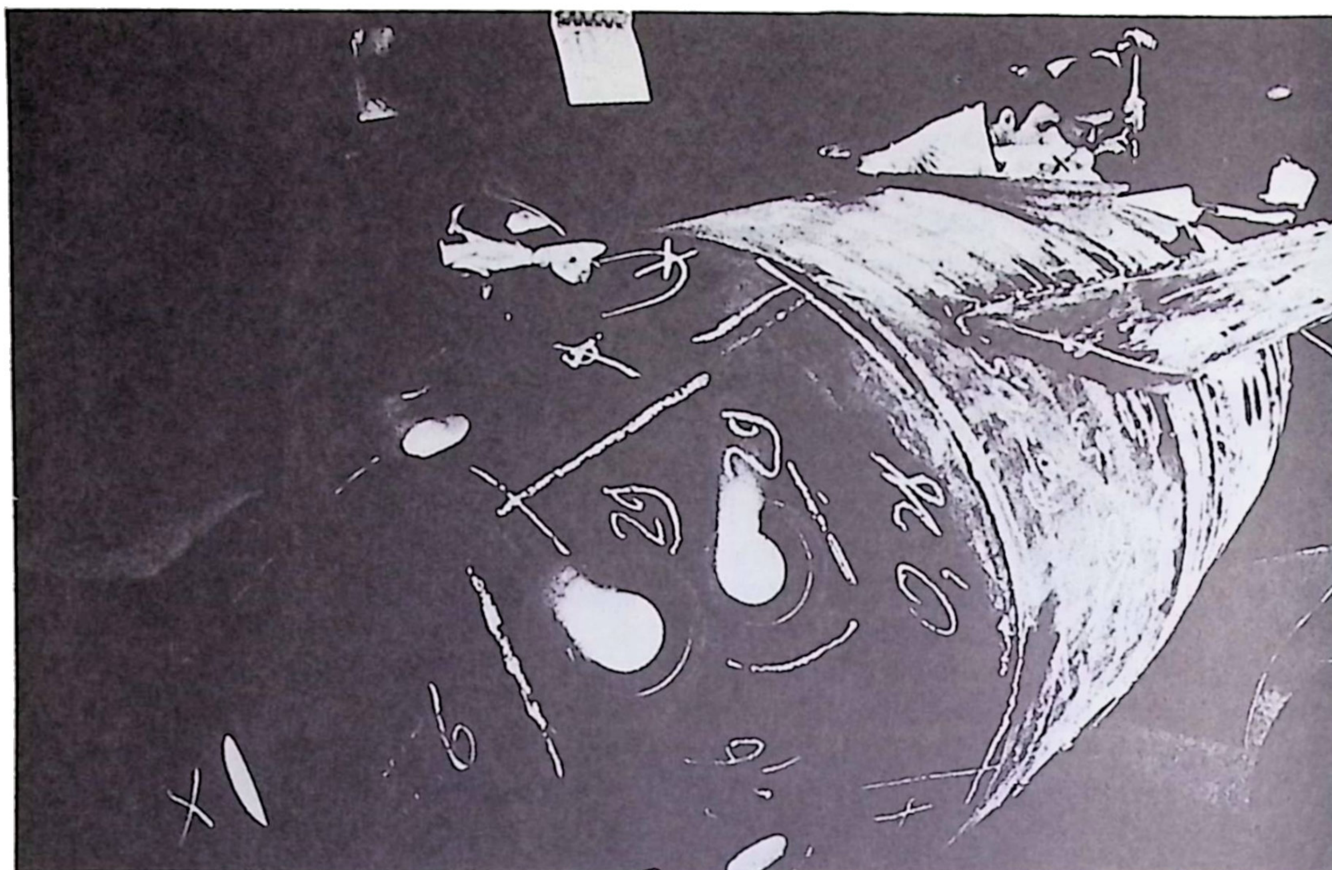
rint a bőr külső vékony hámrétege alatt ún. „csírázó réteg” található. Ebbe alulról egy irharéteg rugalmas szemcséi nyúlnak, a legalsó rétegben pedig rugalmas kötőszöveti rostok húzódnak, amelyeket folyékony zsír tölt ki. Mindez nem sokat mondott a biológusoknak, ám a bionika szakemberei nagyon elcsodálkoztak. Ez a több rétegű bőr olyan rugalmas, mint a legfinomabb kárpitozott heverő. Ahol nyomás éri, lágyan behajlik, miközben a szemölcsök közül kipréselődik a zsír.

Mire jó ez a különös delfinbőr? A vízcsatornás vizsgálatok szerint így alakul ki a delfin körül a legsimább vízáramlás.



A fotelok rugalmasságán is túltesz a delfinbőr. A lágyan barázdált külső hámréteg alatt a „csírázó réteg” (1); az irharéteg (2); kötőszöveti rostok (3). Ez a metszet csak 1/9 része a delfinbőr teljes vastagságának

A delfin testének arányai elősegítik a gyors úszást: törzse négyszer hosszabb, mint legnagyobb átmérője.

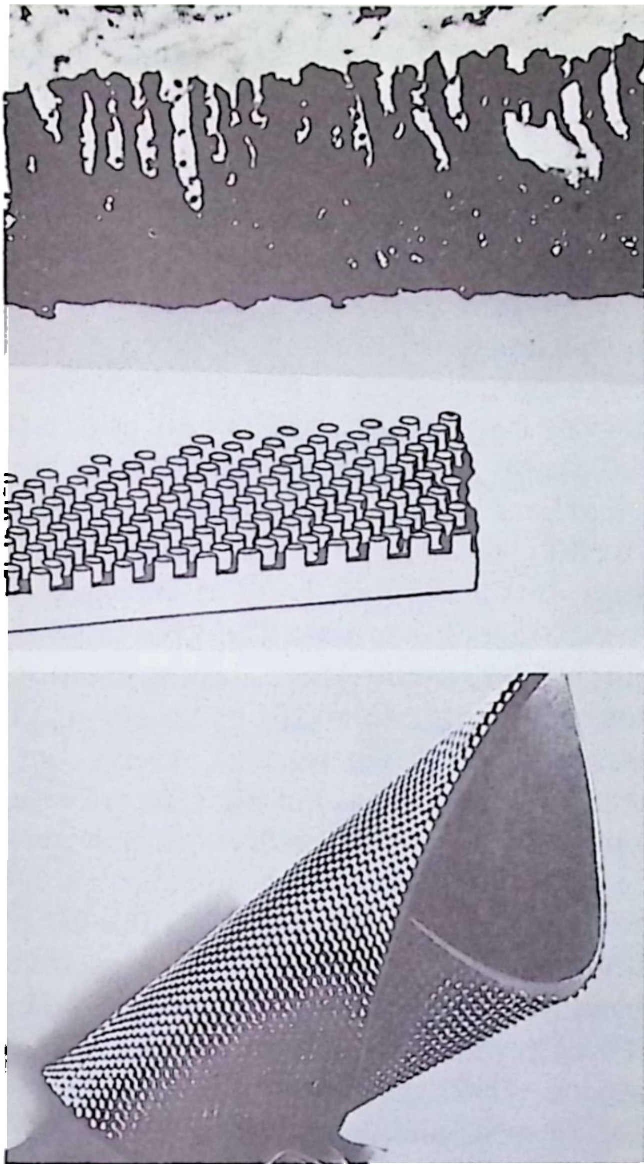


Szovjet kutatók is gondosan tanulmányozták a delfin alakjának áramlástani tulajdonságait, és formálták meg ennek alapján kísérleti merülő járművüket

Csak a farok tövében szakadnak le azok az örvények, amelyek a vízben úszó test mozgási energiáját csökkentik. A test egész hosszában a rugalmas bőr tökéletesen lecsillapítja az apró örvényeket, így az áramvonalas delfin több mint ötven kilométeres óránkénti sebességet is elérhet.

Az is fokozza a delfin siklóképességét, hogy bőre víztaszító. A. Glagoljeva és Z. Afonyin szovjet kutatók mérései szerint ilyen felületen kevesebb örvény alakul ki, mint egy „nedvesedő" bőrrétegen. A víztaszító test olyannak tűnik a vízben, mintha csapágyon gördülne: körülötte a molekulahalmazokból gyűrűszerű szerkezetek alakulnak ki. Ez a felszíni vízréteg szoros molekulahártyaként simul a delfin testéhez, tovább csökkentve az „energiafaló" örvények keletkezésének lehetőségét.

1960-ban O. Kramer amerikai kutató e felismerések alapján elkészítette a Laminoflow nevű műbőrt. A 3,5 mm vastag, hajlékony műanyag lemezben két határréteg között apró pálcák sorakoznak, amelyek bizonyos erőhatásra ugyanúgy összenyomódnak, mint a delfinbőr irhaszemölcsei. A pálcikák közötti teret rezgéscsillapító folyadék tölti ki. Ez a delfinbőrt utánzó műanyag beváltotta a hozzá fűzött reményeket. Torpedókat vontak be Laminoflow-val, így 30 százalékkal nagyobb sebességet értek el, mint a régi acélburkolattal. A bionikusok most már azon gondolkodnak, hogyan lehetne a tengerjáró hajók sebességét is növelni ezzel a különös delfinbőrrel.



A rugalmas delfinbőr irharétegének szemcséi ilyennek látszanak a mikroszkóp alatt (fent). Ezt a találmányt a technika is lemásolta (középen). A lábtörlőszerű mesterséges delfinbőr (lent) több rétegben egymásra ragasztva és folyadékkal megtöltve csökkenti a fékező örvényeket

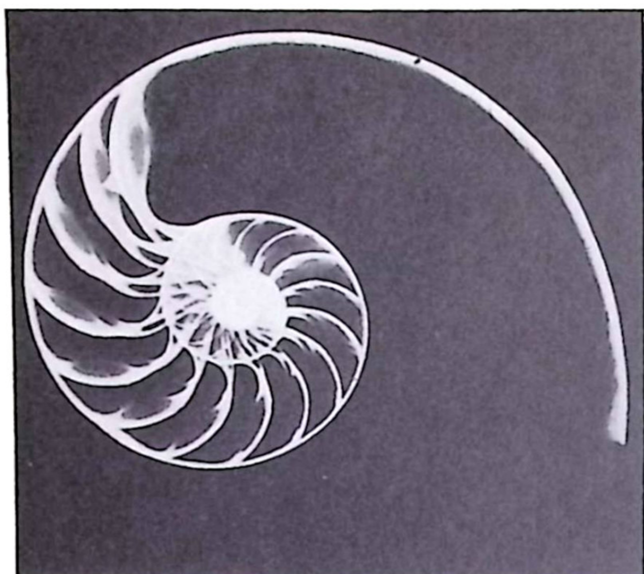
Vigyázat! Merülünk!

„Folytatjuk az aláereszkedést, most már rendkívül lassan. Benzinkészletünk tovább hűl, és mivel a benzin összehúzódása következtében egyre több víz jut az úszódobba, ez egyre nehezebbé tesz bennünket. Úgy érzem, mintha ereimben áramlana ez a sok száz liter víz." Jacques Piccard, a neves mélytengerkutató írta ezt, aki valóban különleges élményben részesült. *Trieste* nevű batiszkáfja 1960. január 23-án a Csendes-óceán nyugati térségében, a Föld legmélyebb pontján, a Mariana-árokban 10 912 méter mélyre ereszkedett.

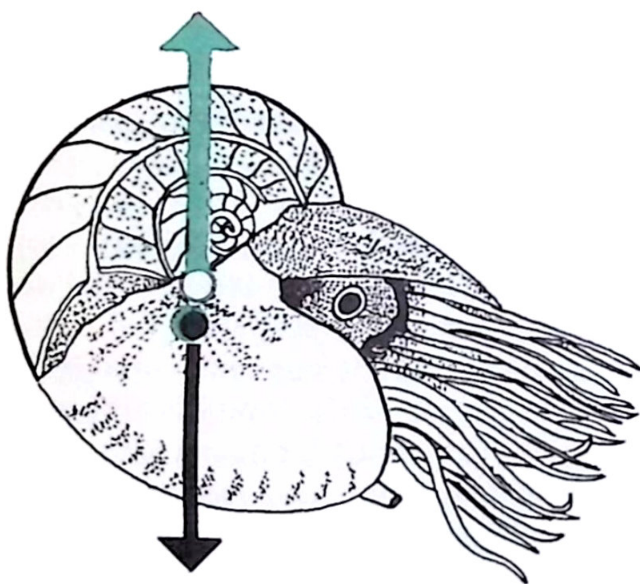
Nyugalmi helyzetben a különleges mélytengeri kutatójármű a vízfelszínen úszik. Ahhoz, hogy lemerüljön, nehezebbé kell válnia. Honnan veszi ezt a súlytöbbletet? A *Trieste* úszódobjaiban több mint 100 köbméter benzint tárolnak. A merülési parancsra szelepek nyílnak meg, amelyeken át tengervíz áramlik a benzintartályokba. A növekvő víznyomás egyre kisebb térfogatra szorítja össze a könnyű folyadékot, a tartályok egyre nehezebbé válnak, a jármű süllyedni kezd.

Ha később emelkedni akar, benzint szivattyúznak át az úszódobokba. A víznél könnyebb folyadék kiszorítja a vizet, s a batiszkáf a felszínre emelkedik. A tengeralattjárókon általában csak levegő tölti ki a merülőtartályokat, majd sűrített levegővel nyomják ki belőlük a tengervizet, ha emelkedni kell.

Ez az ötletes és egyszerű merülési módszer már évmilliók óta megtalálható a természetben. Nemo kapitány csodálatos *Nautilus* tengeralattjárójának ősi változata, a fejlábú puhatestűek osztályába tartozó csigáspolip, a Nautilus több mint 50 millió éve „tudja", hogyan lehet rendkívül gyorsan több száz méterre süllyedni, majd újra a felszínre emelkedni. Maga az állat a spirálisan, de egy síkban feltekeredett héj legkülső kamrájában, szinte a bejáratnál lakik, a belső rekeszeket pedig részint gáz, részint víz tölti ki. A Nautilus merülőautomatikája pontosan úgy működik, mint a *Trieste*-é: ha a mélybe akar ereszkedni, egyre több vizet enged gázzal töltött kamráiba. Így az élő jármű



Röntgenkép a Nautilus csigáspolip mészvázáról, amely a térbeli csavarvonal szerkesztésének matematikai remeke. Az állat a különös lakókocsi feketének látszó üregét foglalja el. A bordázott kamrákat gáz tölti ki, amellyel a merülés szabályozható a vízben

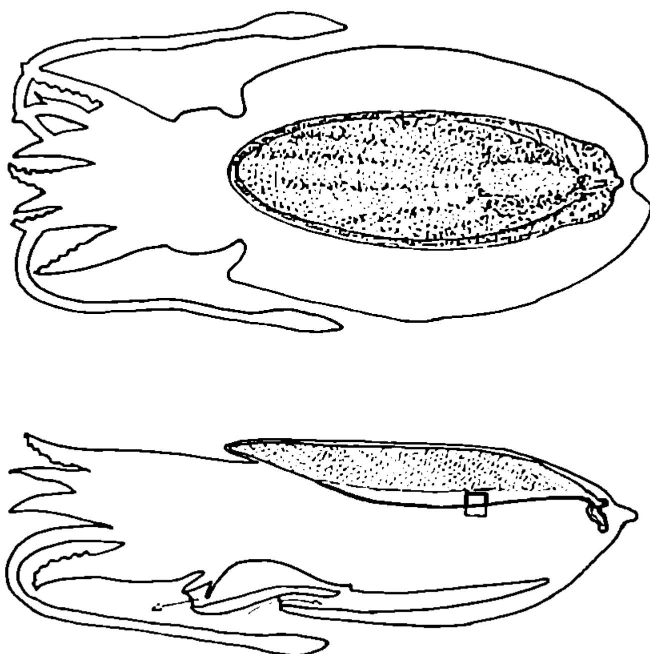


Ha merülni akar a Nautilus csigáspolip, gázzal töltött kamráiba vizet enged, így megnő a fajsúlya. Kiegyensúlyozott állapotban a vízben lebegve súlypontja alacsonyabban van, mint a ráható felhajtóerő támadáspontja. A Nautilus így nem bukfencezik tehetetlenül a vízben, mert ha megbillen, azonnal visszatér vízszintes úszási helyzetébe

egyre súlyosabbá válik, és vízbe ejtett kő módjára süllyed lefelé. Ha ismét a felszínre kívánkozik, gázt választ ki szervezetéből. A gáz egyre több kamrából szorítja ki a tengervizet, növekszik a héjra ható felhajtóerő, és a Nautilus légbuborékként száll fel a vízben.

A polipok egyik közeli rokona, a szépia is meglepetéssel szolgált nemrég a biofizikusoknak. Erről a közismerten tintahalnak nevezett állatról sokan csak azt tudják, hogy ha ellenség közelít felé, hirtelen barnásfekete folyadékot („tintát") lövell ki, elködösítve maga körül a vizet, hogy biztonságosan kereket oldhasson. A biológusok azonban tűnődve vizsgálták azt az uszonyszerű lapos csontot, amely bőre alatt húzódik, és testsúlyának csaknem egytizedét teszi ki. A mikroszkópos vizsgálatok során kb. száz vékony, lyukacsos szerkezetű réteget találtak benne. Minthogy a csont sűrűségét 0,6 g/cm³-nek találták, megnyugodva tették félre. Önként adódott a megfejtés: egy 1000 grammos tintahal térfogata azért lehet 960 cm³, mert éppen a csont kisebb fajsúlya által 40 grammot „veszít" a súlyából. Így a szépia bárhol nyugodtan lebeghet a vízben.

E. Denton és J. B. Gilpin-Brown angol kutatók számára azonban nagyon gyanúsnak tűnt a furcsa csontdarab. Miért hurcolja magával minden tintahal olyan kitartóan ezt a tetemes tömegű lemezt? Tengeri akváriumban kezdték el vizsgálataikat, szépiapéldányokat gyűjtve a vízfelszínről és a tengerfenékről. Az eltávolított szépiacsontok mérési adatai érdekes eltérést mutattak. A fenéken talált tintahalak csontja 0,7 fajsúlyának bizonyult, teljes súlyuk 30 százalékát a réteges szerkezet hajszálrepedéseit kitöltő víz adta. A felszínről gyűjtött lábasfejűek csontja viszont 0,5 sűrűségű volt, s csupán 10 százalék vizet tartalmazott.



A szépia ovális csontlemeze (felülnézetben) a legmegfelelőbb merülőtartály. Süllyedés előtt vizet szivattyúz a lyukacsos szerkezetű anyagba (lent oldalnézetben), tehát megnő a súlya. Emelkedéskor fordítva hajtja végre ugyanezt a műveletet

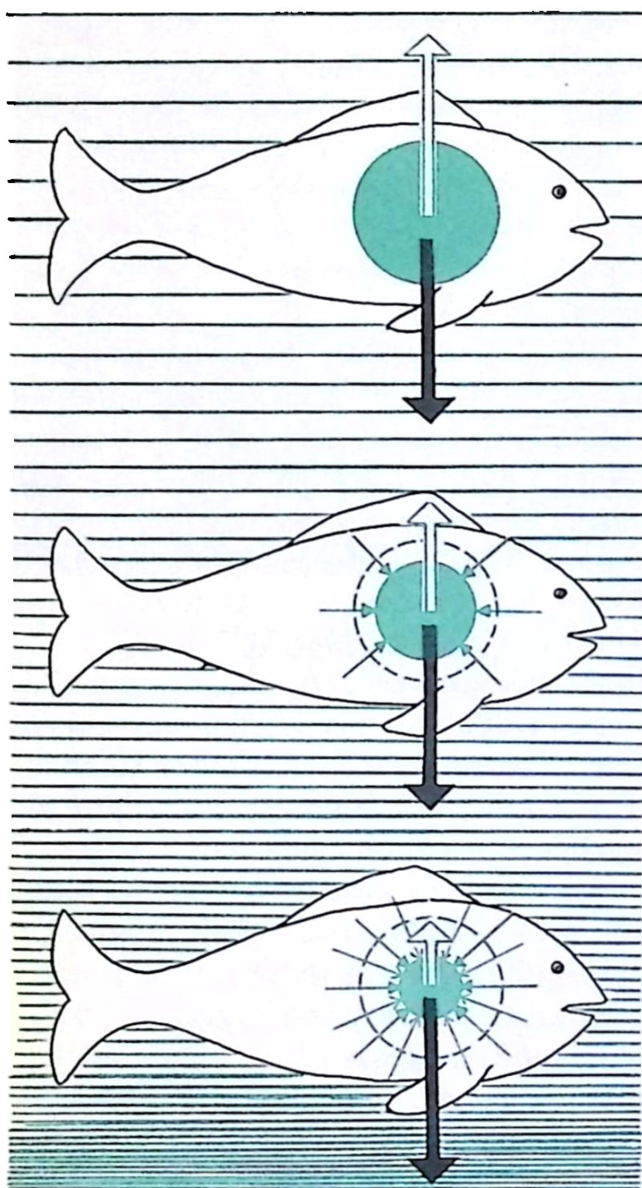
Ezzel választ kaptak sejtésükre. A szépiacsont nemcsak egyszerű „mentőöv", hanem önműködő merülőtartály is. A vizsgálatok szerint merülés előtt a tintahal – vérkeringésének segítségével – tengervizet szivattyúz a csontba. Minél több víz szivárog ide, annál nagyobb lesz a csont fajsúlya, így az egész tintahal súlya is: az állat merülni kezd. Ha viszont felsőbb vízrétegekbe emelkedik, kiszorítja a csont parányi csatornáiból a vizet. Milyen módszerrel? Erre még nem találtak magyarázatot. De tény, hogy a próbafogások során Plymouth kikötőjében 30–75 méter mélységben is találtak szépiákat, más adatok szerint pedig a különös élő tengeralattjárók akár 180 méter mélyre is lemerülhetnek.

A halak tökéletesebb módszerrel merülnek. Nem bajlódnak a vízszivattyúzással, ehelyett rugalmas falú gáztartályt használnak, amely kitágulva növeli, összehúzódva csökkenti a testükre ható felhajtóerőt. Ennek a különös berendezésnek – az úszóhólyagnak – kettős feladata van: egyrészt bármely vízmélységben ellensúlyozza a hal testére nehezedő víznyomást, másrészt szabályozza az emelkedést-süllyedést.

A legtöbb csontoshalban megvan ez az érdekes „léggömb", de az alacsonyabb rendű porcoshalakból (ilyenek például a cápák, ráják stb.) még teljesen hiányzik. Általában a gerincoszlop alatt helyezkedik el, s aszerint, hogy van-e vagy nincs kivezetése a szabadba, a biológusok *légjáratos* és *zárt úszóhólyagos* halakat különböztetnek meg. A légjáratos halak – így például a pontylárvák – egy-másfél nappal azután, hogy az ikrából kikeltek, a víz felszínére úsznak, hogy levegőt nyeljenek úszóhólyagjuk feltöltéséhez.

Kostojanc és Vasziljenko szovjet kutatók arra is kíváncsiak voltak, hogy ez a „lenyelt" levegő továbbra is megmarad-e a légjáratos halak úszóhólyagjában. Meglepő módon egészen más gázösszetételt találtak benne, mint ami a szabad levegőre jellemző. A tengeri angolna úszóhólyagját 87,7 százalékban oxigén tölti ki, a szivárványos pisztrángban viszont 95,5 százalék nitrogént mértek, s csak 3,7 százalék oxigén volt kimutatható, holott közismert, hogy a levegő 78 százalék nitrogént, 21 százalék oxigént és 0,03 százalék széndioxidot tartalmaz. Miért vannak ilyen nagy eltérések? Ezt még nem sikerült megállapitani, de a megváltozott gázösszetétel nyilván élettani okokra vezethető vissza.

Az úszóhólyag segítségével a hal bármely vízrétegben szinte súlytalanul lebeg, és könnyen úszik, hiszen farokcsapásaival csak haladásához kell erőt termelnie. Ha a légjáratos hal kissé lejjebb akar merülni, egyszerűen összébb szorítja



Amikor a hal tökéletes nyugalomban lebeg a vízben, a testére ható felhajtóerő éppen egyenlő a saját súlyával (felső kép). Merüléskor összehúzza úszóhólyagját. Ezzel csökken testének térfogata, csökken a ráható felhajtóerő is, és süllyedni kezd (középső kép). Minél kisebbre zsugorodik merülőtartálya, annál nagyobb süllyedési sebességet ér el (alsó kép)

úszóhólyagját, néhány apró légbuborékot ereszt, s testének fajsúlya máris egy árnyalatnyival nehezebb lesz a vízénél. Ha emelkedni akar, szétfeszíti tartályát, így a víz szinte magától „dobja fel".

A zárt úszóhólyagosok merüléskor gáztartályuk biztonsági szelepét nyitják ki. Ez a fényképezőgépek rekesznyílásához hasonlóan szabályozható, csakhogy izomgyűrűk nyitják: a felesleges gáz a véráramba kerül, az úszóhólyag kissé összehúzódik, s az állat merülni kezd. Az elveszett gázt természetesen pótolni tudja, méghozzá „saját gyártmányú" gázzal, amely gázmirigyeiben termelődik. De ha kisebb magasságkülönbségekről van szó, csak izomerővel változtatja úszóhólyagjának térfogatát. A szabályozás olyan pontos, hogy egy akvárium lakóinak könnyed lebegése mindenkit meggyőz e találmány tökéletességéről.

Bár a porcoshalakban még nincs kifejlődve az úszóhólyag, a cápák mint tudjuk – könnyen segítettek magukon: nagy, erős melluszonyaik víz alatti szárnyak módjára emelik testüket úszás közben. E. Corner és munkatársai néhány évvel ezelőtt érdekes kérdést kezdtek feszegetni. Miért van néhány mélytengeri cápa májában túlságosan sok ún. telítetlen szénhidrogén, amely a víznél kisebb fajsúlyú vegyület? A vizsgálatok érdekes választ adtak: a cápák és más fajok mája tulajdonképpen az úszóbója szerepét tölti be. Amikor külön-külön megmérték a májtól megfosztott cápatestek, majd a májak fajsúlyát, kiderült, hogy a máj mindig annyival könnyebb a víznél, amennyivel nehezebb a test. Tehát a porcoshalak rendjének tagjai is használnak „mentőövet", csak nem úszóhólyag alakjában.

Ezzel fény derült arra a biofizikai talányra is, hogy a hidrodinamikai számítások szerint miért nem „jött ki" akkora felhajtóerő a melluszonyokon, amekkora a legkisebb úszási sebességnél is nélkülözhetetlen volna a cápatest emeléséhez. Most már világos, hogy ezek az állatok kisebb melluszonnyal is boldogulnak, mert májuk gondoskodik a tenger sós vizében a test pontos „kidekázásáról".

Élő búvárharangok

Amikor a *Trieste* búvárhajó földet ért a Mariana-árokban, alig néhány méternyire tőle élő halat pillantottak meg a kutatók. „Ez a mintegy 30,5 cm hosszú és 15 cm széles hal, amely nyilvánvalóan a félszegúszók családjába tartozott, lassan, nagyon lassan távolodott tőlünk, félig a fenékiszapban úszva. Azután eltűnt a vaksötétben, örökletes birodalmában" – írta Jacques Piccard. Ezzel a biológusok végre választ kaptak a régi kérdésre: milyen mélységben élhetnek még halak az óceán vizében? Most már bizonyos, hogy a legnagyobb mélység sem riasztja vissza őket.

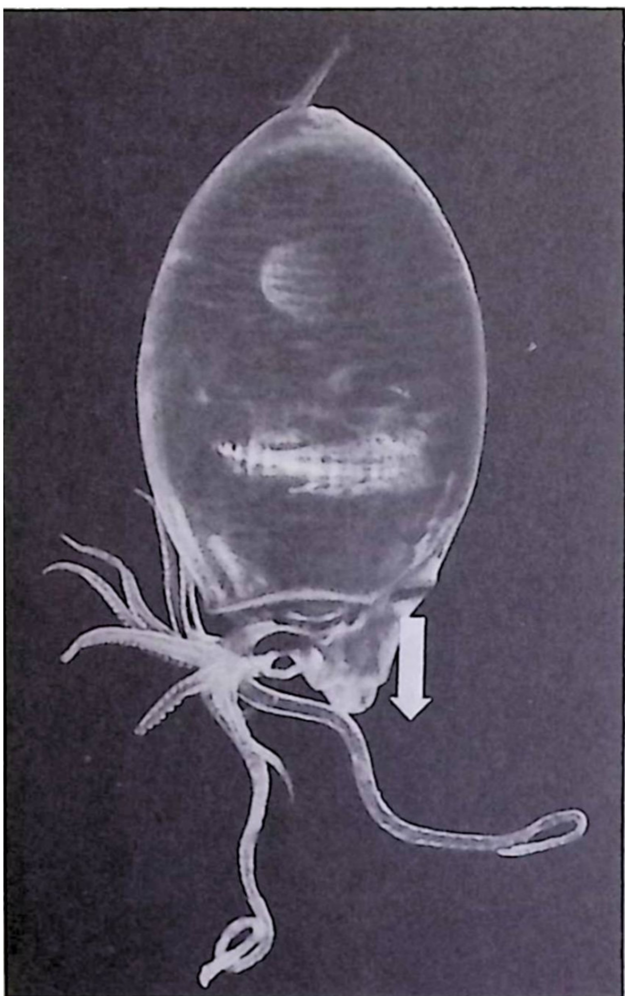
Hogyan bírja ki az élő szervezet ezt az iszonyatos víznyomást? Hozzávetőleges számítás szerint 10 kilométer mélységben egy hal testének minden négyzetcentiméterére egy tonna súly nehezedik! Mintha egy mokkás kockacukorra húsz cementes zsákot raknának! Könnyen elképzelhetjük, hogyan roppan össze a kockacukor – a hal azonban ezt a nyomást is elviseli, aminek kézenfekvő a magyarázata: testszöveteit víz tölti ki, a víz pedig gyakorlatilag összenyomhatatlan.

Ami a mélytengeri halak szervezetének alkalmazkodása révén érthető, annál meglepőbb a 20–30 méter hosszú ámbrás cetek esetében. Ezek az emlős monstrumok több ezer méter mélységbe is lemerészkednek. 1951-ben például a Lisszabon–Málaga közötti tenger alatti kábelba gabalyodva 2200 méter mélységben találtak egy elpusztult cetet. Hogyan tudott ilyen mélyre merülni? A vizsgálatok szerint az ámbrás cetek tüdejének légútjaiban apró billentyűk találhatók. Amikor az állat a mélybe merül, lezáródik ez a bonyolult zsiliprendszer. Az állat testének minden négyzetcentiméterére akár kétmázsás nyomás is nehezedhet, akkor sem illan el a levegő. Ugyanakkor vérében nagy mennyiségű légzőpigment (hemoglobin) található, amely oxigént tartalékol a szervezet fokozott igénybevételének idejére. Izmai is sok oxigént kötnek le, ezért olyan sötétvörös a húsa. S végül a mélymerülés legfontosabb biztosítéka: csaknem száz százalékban nyomásálló folyadék itatja át testszöveteit.

Az élő tengeralattjárók másik érdekes változatát a telepes vagy hólyagos medúzák képviselik, amelyek furcsa állattársulást alkotva kalandoznak a vízen. A teleptörzsön parányi falópolipok tanyáznak, és az egész rendszer jól szervezett vadásztársasághoz hasonlít, akik éppen hajóra szálltak. Vagy inkább léghajóra! A telep tetején ugyanis léghólyag található. A Stephanomia nevű állatok úszóbójája például mindössze gombostűfej nagyságú, de az egész „társaságot" lebegve tartja a vízfelszínen. Voltaképpen ez a parányi gömb a merülőtartály. A gáztömlő tetején megfelelő izommozgással apró szelep nyitható vagy zárható. Amikor az állat kiereszti belőle a gázt, villámgyorsan merül a mélybe újabb vadászterületekre. Ha ismét a felszínre akar jutni, működésbe lépnek gázmirigyei, feltöltik a gömböt, és a Stephanomia vízi léghajója felemelkedik.

A Hippopodius, amely szintén a telepes medúzák rendjébe tartozik, még siettetni is képes merülését. Amikor veszélyt érez, felszedi horgonyát: úszóharangjai közé emeli mélybe lógó teleptörzsét. Ezzel az egész telep súlypontja eltolódik, a Hippopodius – mint egy túlterhelt csónak – hirtelen felbillen, de még a vízfelszínen lebeg. Ekkor bekapcsolja vízsugárhajtását, és „fejjel lefelé" sebesen a mélybe süllyed.

A vízsugárhajtás a természet egyik legősibb találmánya. Azon a fizikai jelensé-





Szívesen lebeg fejjel lefelé az egyik mélytengeri tintahal, a Heliocranchia pfefferi. Ez a faj testét használja merülőtartálynak, amelyet víznél könnyebb testfolyadék tölt ki. Gyorsabb helyváltoztatáskor rakétahajtásra tér át. A „hatás-ellenhatás" fizikai elvét sokkal régebb óta alkalmazza, mint korunk rakétatechnikája

gen alapul, hogy minden erővel szemben azonos nagyságú és irányú ellenerő lép fel, ahogyan az elsütött puska is „visszarúg". Az űrkutató rakéták ezért száguldhatnak légüres térben: amekkora erővel távoznak a rakétafúvókából a forró gázok, ugyanakkora erő hat a rakétára, és tolja előre a „semmiben".

A csend világában persze gázok helyett vizet lövellnek ki az állatok. Ezt az egyszerű hajtóművet használják az ősvilágból itt felejtett csigáspolipok és a kecsesen lebegő medúzák is. A medúza először a kupolájába engedi a vizet, majd ennek peremén a gyűrűs izmokat összehúzza, s a víz sebesen áramlik ki a szűkületen.

A medúzákhoz hasonló áttetsző testű szalpák, ezek a zsákállatok törzséhez tartozó különös lények valóságos kétütemű szivattyúrendszert dolgoztak ki. Szájukon át először testüregükbe szívják a vizet, majd a beömlő-szelepet lezárva, a testüreg izomkötegeinek összehúzásával préselik ki. A szitakötő lárvája a létfontosságú légzéssel kapcsolta össze a sugárhajtást. Ahhoz, hogy kopoltyúszerű légzőszervei oxigént vehessenek fel a vízből, állandóan friss víznek kell átáramlani az állat testén. Ezért az elöl beszívott vizet hátul kipréseli, így veszély esetén akár

félméteres lökésekkel menekülhet támadója elől.

A tengeri fésűskagylók héjpereme körül két izmos köpenyszegély alkot olyan szoros vízszigetelést, mint a fémfedelű konzervüvegek gumigyűrűje. Csak a csuklóspánt tövében van kétoldalt egy-egy apró nyílás. Amikor a kagyló hirtelen összezárja héjait, víz lövell ki a nyílásokon, s az állat még idejében elkerülheti a barátságtalan találkozást például egy tengeri csillaggal.

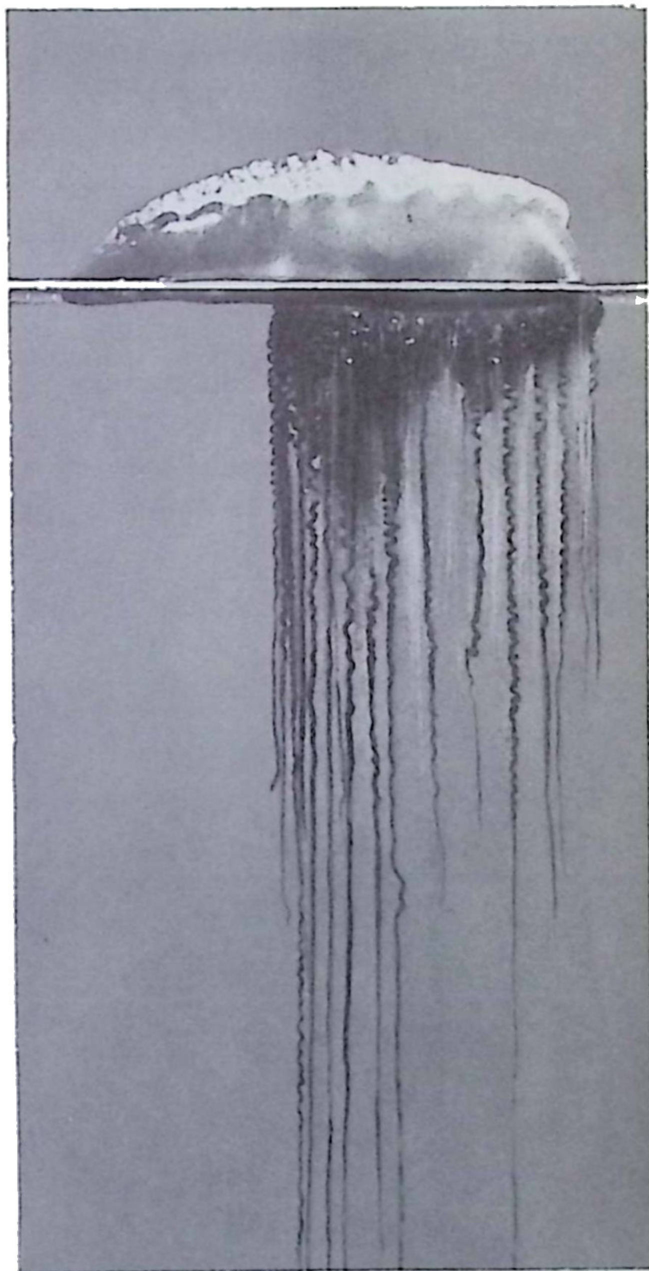
A lábasfejűek sok faja is jól ismeri ezt a „mentőrakéta"-elvet. A közönséges tintahal rendszerint körgalléros uszonyának hullámoztatásával úszkál, ám ha menekülnie kell, vízzel szívja tele hasoldali köpenyüregét, szívónyílását gyorsan lezárja két nyomógombszerű porclemezzel, majd a zsák másik nyílásán szorítja ki a vizet. Vízsugárhajtásának tökéletességére jellemző, hogy a mérések szerint 54 km/óra sebességet is elérhet.

Úszásuk stabilizálására a lábasfejűek romboid alakú vízszintes kormánysíkot használnak, és fúvókájuk finom irányváltásaival kormányozzák magukat. A nyolclábú közönséges polip általában mulatságos balettléptekkel jár a tengerfenéken, de veszély esetén szintén sugárhajtásra kapcsol, és másodpercenként öt lökéssel halad előre.

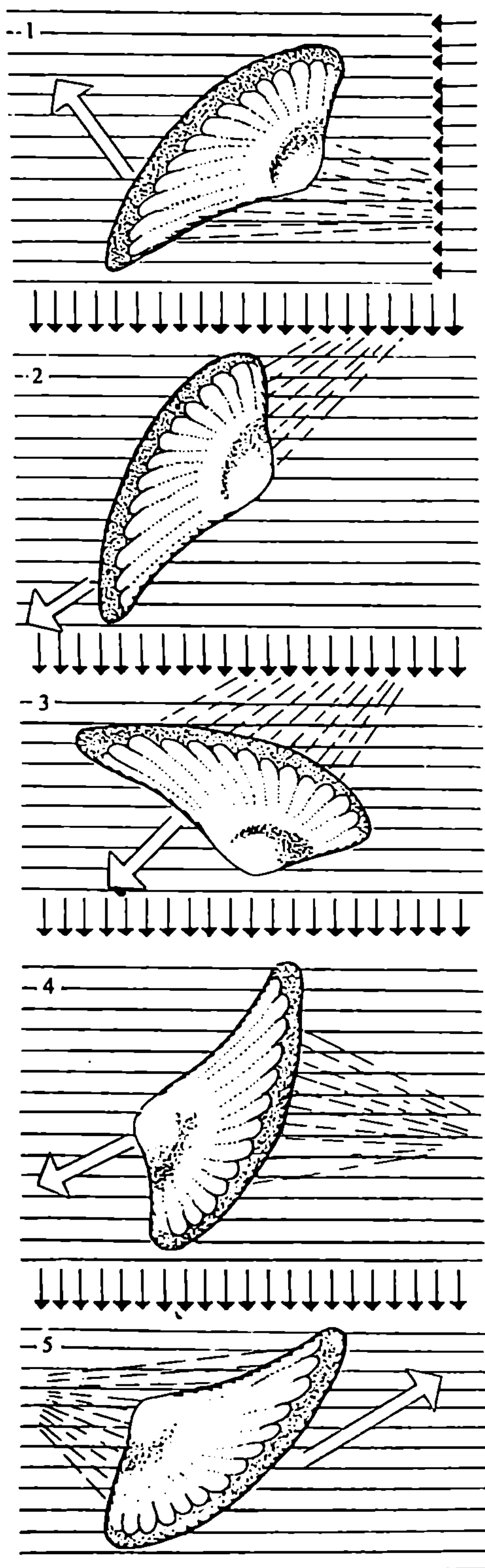
Jó széllel idegen partra

„Szegény ember vízzel főz" – tartja a régi közmondás. Ez leginkább a vízfelszínen kalandozó hólyagmedúzákra érvényes, amelyek önálló hajtóenergia híján a szelet hívják segítségül hosszú és viszontagságos tengeri utazásaikhoz. A portugál gályának nevezett élő vitorlás – amelyen polipok és medúzák laknak békés társbérletben – egyetlen nagy léghólyag felhajtóerejét hasznosítva lebeg a vízfelszínen. Kékes színű fogófonalai kuszán csüngnek a vízben, sokszor 50 méter mélyre is lenyúlnak.

A léghólyag felső részén bíborszínű ezüstös fésű található – ez a portugál



Mint a vízbe ejtett léggömb, olyan könnyedén úszik a felszínen az arasznyi hosszúságú Physalia hólyagmedúza. A tetején húzódó csillogó sáv a vitorla, amelybe a legenyhébb szellő is belekap. Zsákmányszerző fogófonalai a fordulatok végrehajtásánál és a sebesség szabályozásánál is segítenek



gálya vitorlája. Ha enyhe szél kerekedik, kifeszíti vitorláját, fogófonalait még mélyebbre ereszti, és úgy kormányozza magát, hogy kb. 40–45 fokos szöget zárjon be a széllel. Számításba veszi a vízáramlás irányát is. Fogófonalait a vitorlások vészhorgonyához hasonlóan mindig a szél, az áramlás és haladás irányának háromszöge szerint állítja be. Időnként tengelye körül megfordulva manőverezik.

Az apró gályák azonban nem egyformák. Egyetlen különbség van közöttük: egyikük vitorlája csak balról, másikuk vitorlája csak jobbról érkező szélben működőképes. Így idővel a két típus a világóceán két különböző pontjára hajózik, ezért a tudósok sokáig azt hitték, két fajtájuk létezik. Miért különböznek egymástól? Még ma sem tudjuk. A vitorlás „gályák" azonban kétségtelenül jó közlekedési eszközök: 680 cm/mp sebességű szélben 0,5–9,0 cm/mp-es felületi vízáramlásban csaknem tíz kilométeres óránkénti sebességgel suhannak titokzatos úticéljuk felé.

A vitorlás medúzák – a velellák – inkább úszó csészealjra emlékeztetnek. 30 cm átmérőjű korongjukon S alakban hajlított vitorla található. Közöttük is egyenlő arányban fordulnak elő bal és jobb vitorlaállású egyedek. Az ember alkotta vitorlások jóval tökéletesebbek, mert a vízszintes vitorlarúd (a boom) átfordításával követhetik a szélirány változását,

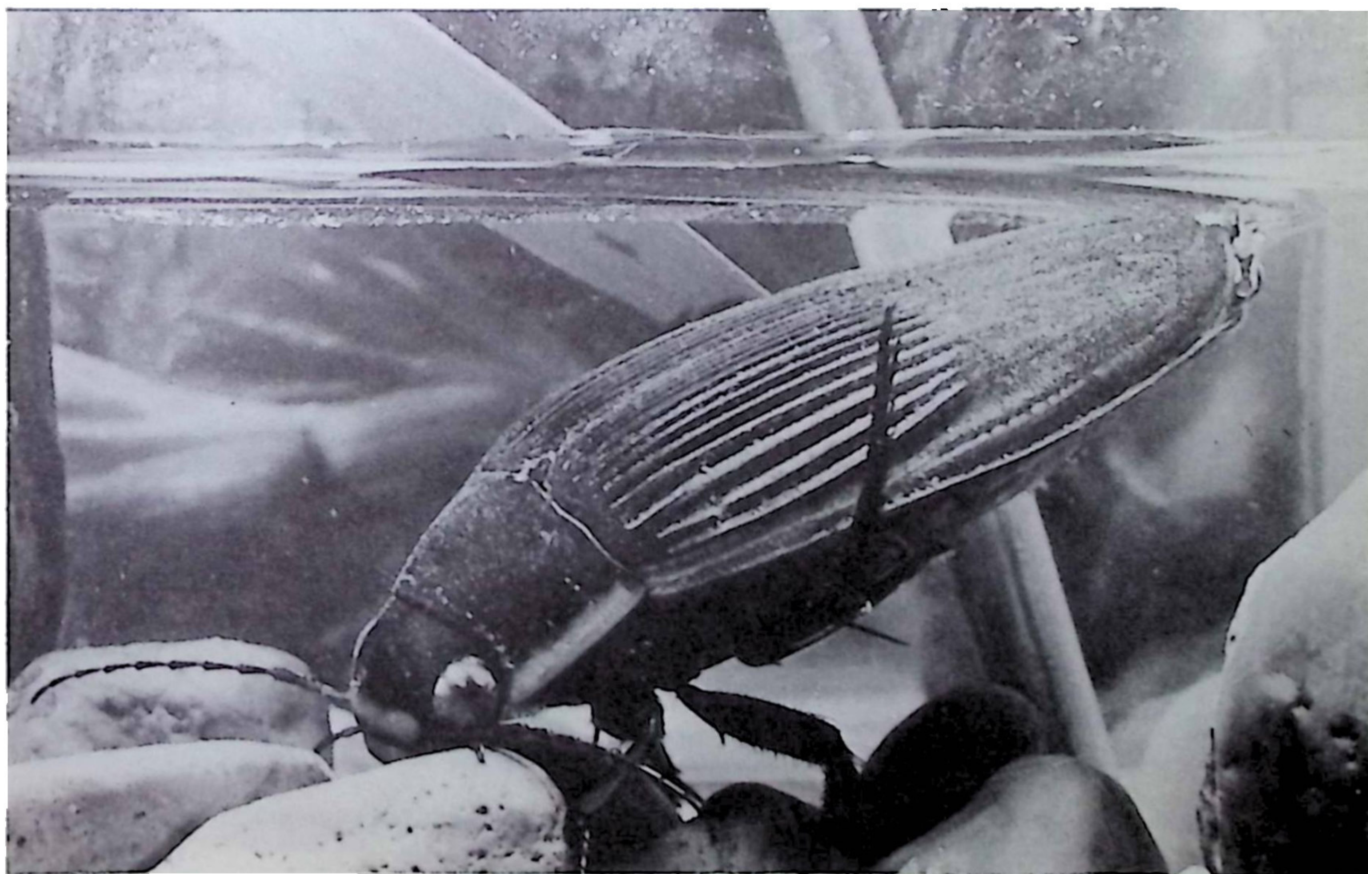
A portugál gálya (a Physalia) a szél energiáját hasznosítva siklik a felszínen. Amikor kedvező a légáramlás, zavartalanul halad úticélja felé (1). Ha azonban hirtelen megfordul a szél (például 90 fokkal), kedvezőtlen helyzetbe kerül a vitorla (2). A Physalia manőverezni kezd: fogófonalainak horgonyába kapaszkodva lassan elfordul (3), majd élével csaknem szembekerül a széllel (4), végül továbbfordulva, ellenkező irányban folytatja útját (5)

miközben a hajó megtartja eredeti irányát. A velella viszont, ha fúj a szél, mindig úgy helyezkedik el, hogy vitorlája 25–30 fokos szöget zárjon be a széllel, így a legenyhébb légáramlat is könnyedén lendíti előre.

A rovarok a „hároméltű" jármű régi álmát valósították meg a természetben. A csíkbogár például fut, repül és úszik, testének három része (a fej, a tor és a potroh) egymásba olvadva olyan áramvonalas karosszériát alkot, mintha gondos hidrodinamikai mérések alapján tervezték volna. A 3 cm hosszú bogár még a súrlódás csökkentéséről is gondoskodik: kemény kitinburkolatára olajos váladékból von finom réteget. Nem csoda, hogy rövid ideig másodpercenként akár 60 cm-es sebességgel is száguldhat a vízen,



A csíkbogár (lent) fut, repül és úszik, a keringőbogár nagy sebességgel száguld a vízen (jobb oldalt)



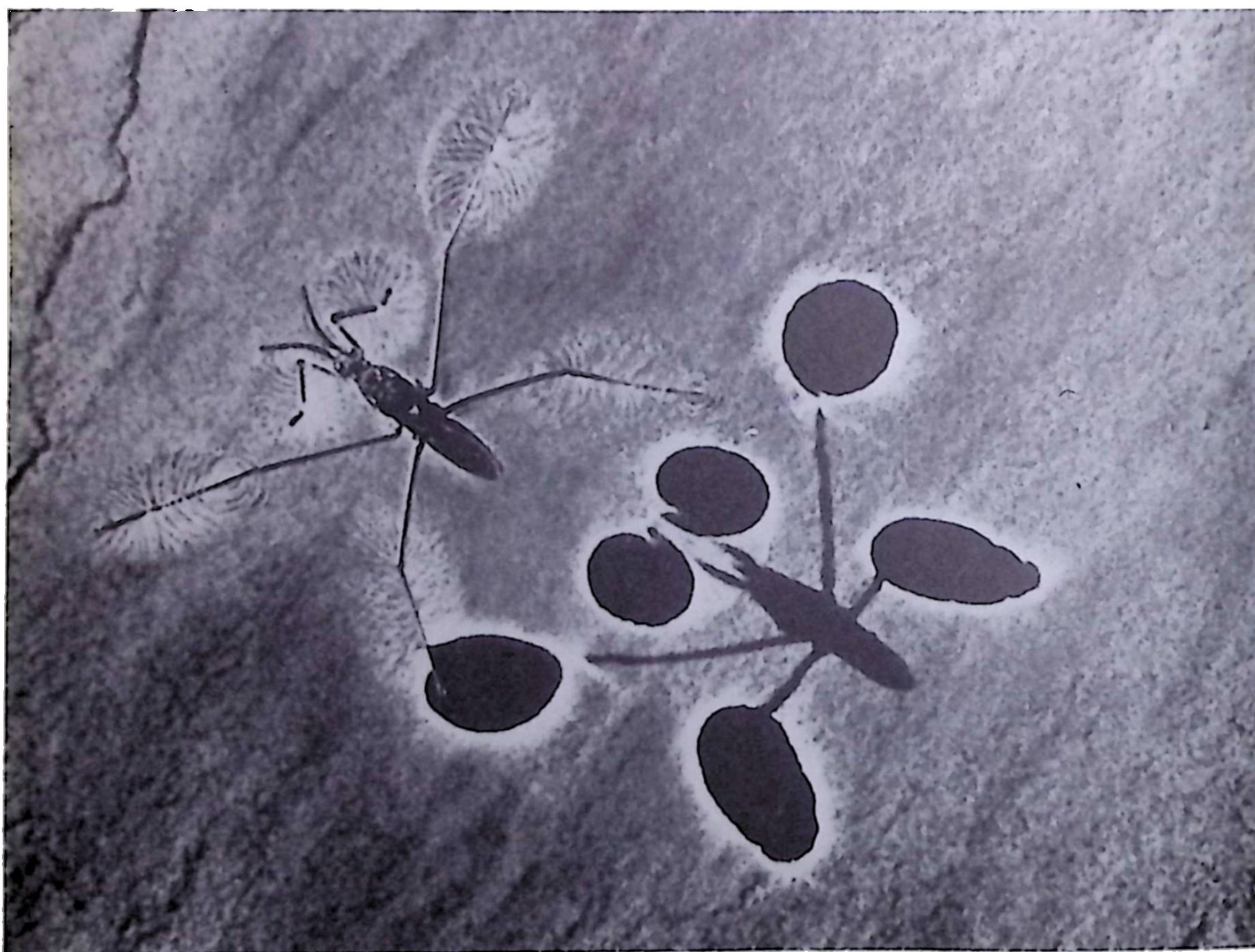
ami arányos nagyításban egy motorcsónak sebességének felel meg.

De a rekordot a pöttömnyi, 4–6 mm hosszú keringőbogár tartja. Tökéletes mechanizmussal rendelkezik: lábai csuklós evezők, amelyek másodpercenként 50–60 csapással mozognak. Evezői mindössze 0,01 mm vastagok, és önműködően összecsukódnak, ha előrehúzza őket, hátratoláskor viszont kifeszülnek, így közegellenállásuk 40-szeresre növekszik. Filmfelvételek mutatják, hogy a bogár milyen villámgyorsan kezeli evezőit: mindössze 4 milliomod másodperc alatt lendíti őket előre. A bionika kutatói ugyan tanulhatnak ettől a parányi rovartól!

Száraz lábbal a vízen át

Vannak olyan állatok is, amelyek a vízen sétálnak. Ez nem meglepő egy fizikus számára, aki jól tudja, hogy a nyugodt vízfelszínen feszes hártyát alkotnak a vízmolekulák. Ha borotvapengét lapjával ejtünk egy pohár vízbe, nem süllyed el, pedig nehezebb a víznél. Ugyanígy maradnak fenn ezen a láthatatlan hártyán a vízipókok, a molnárpoloskák is víztaszító papucsaik segítségével.

Sokáig rejtélyesnek tűnt, hogy ezek a vízfelszínen könnyedén korcsolyázó parányi rovarok miként tudnak partot érni. Egy üvegtartály falán a víz lejtős peremet



A tófenékre vetődő árnyék leplezi le a molnárkát. Hosszú, vékony lábai alatt rugalmasan behajlik a víz felületi hártyája, amint ezt fekete „papucsai" mutatják

alkot. Amikor például egy molnárka nekifut ennek a „lejtőnek", már félúton vissza kellene csúsznia, mert lábának nincs mibe kapaszkodni. És mégsem csúszik vissza. René Baudoin francia kutatónak sikerült megfejtenie ezt a talányt. Megfigyelte, hogy a kicsiny szemesholyva, ez a holyvák családjába tartozó bogár a lejtős vízfalnak nekiszaladva, hirtelen olyan anyagot termel, amely többé nem taszítja, hanem vonzza a vizet. Lába átnedvesedik, s ettől a pillanattól fogva már a vízlejtőbe kapaszkodva ugrik a partra. Egy másik faj még vegyszert sem használ, csupán egyszerű fizikai trükköt alkalmaz. Ha felszalad a meredek vízlejtőn, félúton egyik lábának erős ütésével átszakítja a felületi hártyát. Így a lábához tapadó víz már nem engedi lecsúszni – egyetlen lendülettel vetődhet partra.

A törzsfejlődés folyamán évmilliók alatt „kísérletezték ki" a különféle állatfajok mindazokat a módszereket, amelyek a legkisebb energiabefektetéssel teszik lehetővé mozgásukat a csend világában. Az úszási módszerek tökéletessége általában az egyes állatfajok szervezetének fejlettségével arányos, de szorosan összefügg az állat életmódjával is. Ezek a feltételek határozták meg egy-egy ötletes „találmány" kialakulását. De különleges esetekkel is találkozhatunk. Az édesvízi hidra például minden más úszási formát sutba dobva, apró cigánykerekekkel halad előre. A víz alatti talajon állva előbb hétrét görnyed, tapogatóit a talajra helyezi, karjaival kézállásba lendül, majd ebből a helyzetből ismét talpra áll. A bionika még értetlenül áll e mozgásformák előtt. Bizonyos, hogy nem véletlenül alakult ki a hidra különös mozgása, és szükség esetén talán a technika is sikerrel alkalmazhatná. A vízi világ haladási módszereinek tanulmányozása kétségtelenül sok meglepetést tartogat még a bionikusok számára.



Ló és lovasa szinte száll a levegőben. A négy láb rendkívül hasznosnak bizonyult az állatvilág törzsfejlődésében, de bizonyos fajok sikeresen illeszkedtek be környezetükbe a helyváltoztatás egyéb módszereivel is

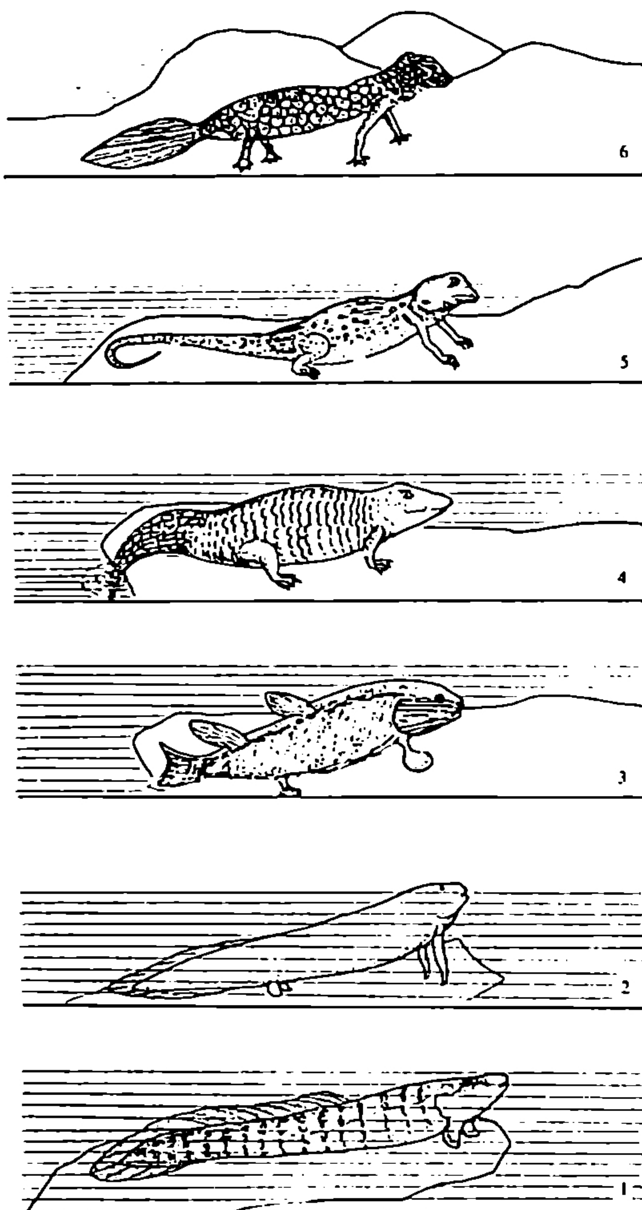
HIÁBA KERESSÜK A KEREKET

Floridában nemigen merészkednek a kutyák a kisebb tavak partjára. Attól félnek, hogy megharapja őket egy hal. Aggodalmuk nem alaptalan, mert a veszély valóban ott leselkedik rájuk a parton mászkáló angolnaharcsák alakjában. Ez a ragadozó halfaj Dél-Ázsia és Ceylon vizeiben él, de Floridában is meghonosították. Itt kezdődött a baj. A harcias állat, amely fél méter hosszúra is megnőhet, nemcsak a vízben támadja meg a kisebb halakat, hanem a szárazföldre is kimerészkedik. Kopoltyújában olyan hólyag található, amelynek érerekkel gazdagon átszőtt fala közvetlenül a levegőből választ ki oxigént. Így az állat több órán át tartózkodhat a szárazon, miközben izmos melluszonyaira támaszkodva halad előre, és még egy kutyát is megtámad, ha útját állja a kíváncsi eb.

Ez a különös hal szinte élő bizonyítéka a több mint 350 millió évvel ezelőtt végbement fejlődésnek. A víziállatok kimerészkedtek a szárazföldre, hogy megvessék lábukat – vagyis akkor még uszonyukat – a part menti ingoványokon. Robert Silverberg amerikai író szinte költőien érzékelteti ezt a folyamatot *Tower of Glass* című regényében: „...egyetlen ember sem létezett, csak hal volt. Egy síkos valami, kopoltyúkkal és pikkelyekkel és kis kerek szemekkel. Az óceán mélyén élt, és az óceán olyan volt, mint a börtön, és a levegő olyan volt, mint egy tető a börtön felett. Senki sem tudott áthatolni a tetőn. Meghalsz, ha felmész – mondta mindenki, és a hal felment és meghalt. És volt egy másik hal, amelyik felment és meghalt. De volt egy másik hal, és felment, és úgy érezte, mintha fejbe lőtték volna, és a kopoltyúi tüzeltek, és a levegő fullasztotta, és a nap fáklyaként égett a szemében, és feküdt a mocsárban, várva a halált, és nem halt meg. Visszakúszott az öböl szélére, a vízbe merült, és azt mondta: »Nézzétek, odafenn egészen másféle világ van.« – És újból felment, és ott maradt vagy két napig, és aztán meghalt. És más halak is kíváncsiak voltak arra a világra. És felkapaszkodtak a sáros partra. És ott maradtak. És megtanulták, hogyan kell levegőt lélegezni. És megtanulták, hogyan kell felállni, hogyan kell körbesétálni, és hogyan kell élni, szemükben a napsugarakkal..."

Ebből persze nem derül ki pontosan, hogyan alakultak ki a négylábú állatok, de a folyamat félreismerhetetlen. A víziállatok még úgy éltek – mint a hal a vízben. Nem kellett törődniük saját súlyukkal, remek merülőtartályuk (úszóhólyagjuk) révén súlytalanul lebegtek. Amint azonban valamelyikük felkapaszkodott a partra, meg kellett őriznie egyensúlyát, az „élére" állított hal ugyanis azonnal eldől.

Legalább két oldaltámaszra volt szükség, így a fejlődés évmilliói alatt a szárazföldre látogató halak uszonyai egyre merevebbé váltak, és csontok fejlődtek bennük. A hal most már úgy állt két mell-uszonyán és a farkán, mint a háromlábú asztal. Később a medenceöv tájának



Amikor az állatok törzsfejlődése során a halak kimerészkedtek a szárazföldre, testük fokozatosan alkalmazkodott az új környezethez. Így alakultak ki uszonyaikból a lábak. 1: A sokúszós csukák családjának tagjai pihenéskor még napjainkban is húsos nyelű mellúszóikra támaszkodnak. 2: A tüdőshal szintén mellúszóira nehezedik, és lélegzésre is képes. 3: A bojtosúszós halak pikkelyekkel borított nyelű úszói már végtagokra emlékeztetnek. 4: A Labyrinthodontáknak nevezett kihalt kétéltűek a bojtosúszós halakból fejlődtek ki. 5: Pihenő helyzetben a gyíkok mellső lábukkal már felemelik testüket a talajról. 6: A tapadó gyíkok négy lábukon magasra emelkedve futnak a földön

uszonyai is egyre merevebbé váltak, a hal felemelhette testét a földről. Uszonyai laposan támaszkodtak a földre, ami megkönnyítette mozgását a sáros, mocsaras talajon. Ezekből a támasztóuszonyokból fejlődtek ki később a végtagok. Felépítésük meglepően hasonlít az ember karjához és lábához: először csak egy egyenes csont alakult ki, amely mintegy vízszintesen merevítette az uszonyokat (a felkar), majd ehhez két rövidebb csont csatlakozott függőlegesen (az alkar), végül a talajra terülő uszonyrészben alakultak ki a kéztő- és kézközép-csontok, valamint az ujjak.

Ez a Z alakú szerkezet négy helyen nyúlt ki az állat testéből. A kétéltűek és a hüllők teste már ilyen felépítésű. Ezek a lábak csaknem mereven csatlakoznak oldalról a gerincoszlophoz, s a legbiztosabb alátámasztást nyújtják, mert az állat súlypontja közel van a talajhoz. A gyíkok éppen ezért képesek meredek sziklákon is felkúszni, súlypontjuk nem húzza hátra őket. Ezért is tudnak futás közben olyan villámgyorsan „lefékezni". A törzsfejlődés további útján a lábak egyre tökéletesebbé váltak, és egyre jobban kiegyenesedtek. A ló súlypontja már olyan magasan van, hogy ha egy 30 fokos dőlésszögű deszkalapra helyezik élethű modelljét, nem áll meg rajta, hanem hátrabukik.

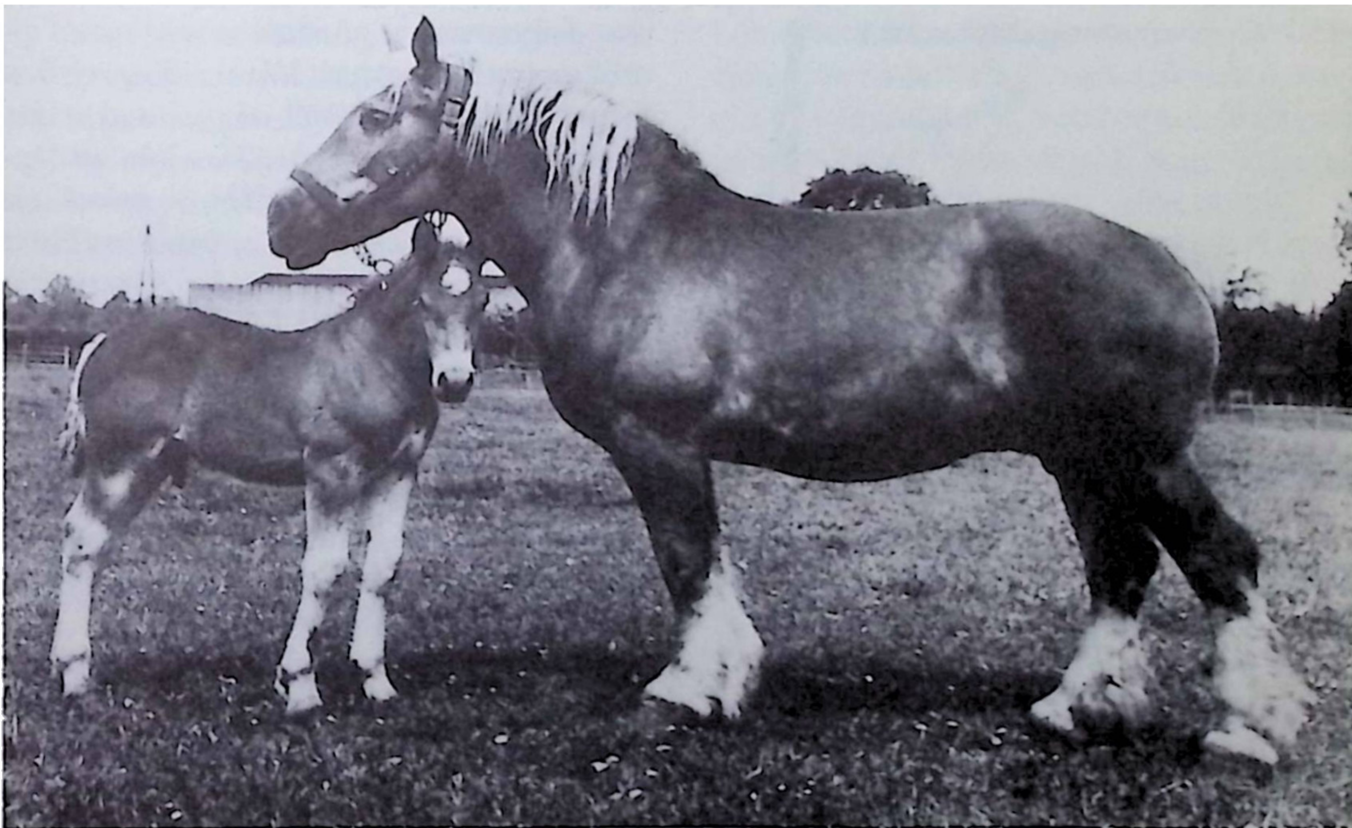
Az állatok törzsfejlődése tehát a lábak kiegyenesedését és megnyúlását hozta magával. A talajra támaszkodó lábak négyszöge a gyíkoknál, krokodiloknál nagyobb, mint maga a test. Később a lábak a test alá kerültek, a négyszög összeszűkült. Gyorsabb mozgás vált lehetővé, de csak kevésbé egyenetlen talajon. Amit a lovak, antilopok nyertek a réven, elvesztették a vámon. A kisebb támasztónégyszög azt jelenti számukra, hogy súlypontjuk is könnyebben kibillen.

Ez valójában nem veszteség, csupán a sebesség és az egyensúly összehangolásának egyik szélsőséges példája. Minden állat testének felépítése ezt az egymással szemben álló két követelményt igyekszik összebékíteni. A „földszintes" állatok e képzeletbeli „kétkarú mérlegnek" azon a végén helyezkednek el, ahol viszonylag kis sebességért biztos egyensúly kárpótolja őket. A patkányok, egerek és más rágcsálók valahol a mérlegkar közepe táján találhatók, a gyorsan és kitartóan futó patás állatok viszont a sebességoldalon képviselik a másik végletet.

Miért nem borul fel a ló?

James Gray angol professzor, aki behatóan tanulmányozta az állatok mozgását, érdekes mechanikai „trükköt" figyelt meg a négylábúakon: súlyuk nem egyenletesen oszlik el mind a négy lábon. Hogy miért van erre szükségük, gondoljunk előbb egy asztalra. Helyezzünk a közepére képzeletben egy súlyos lexikont, és próbáljuk meg észrevétlenül kivenni az asztal valamelyik lábát. Nem megy! Az asztal azonnal felborul. A négylábú állatok mégsem borulnak fel, ha felemelik valamelyik lábukat. Vajon miért?

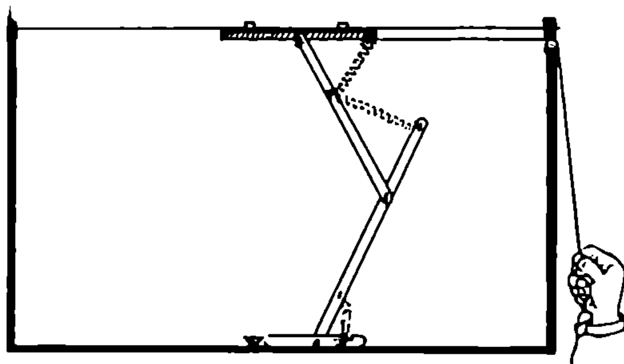
Az asztal súlypontját a nehéz lexikon alkotja. Ha meghúzzuk az asztal téglalapjának két átlóját, a könyv éppen a kereszteződési pontban van. Ezért borul fel az asztal. De most toljuk kissé előbbre a lexikont. Ekkor már az asztal valamelyik hátsó lába észrevétlenül kiemelhető. A lexikon-súlypont a három merev láb alkotta háromszögön belül van. Ez a szilárd alapállás legfontosabb feltétele mozgás közben.

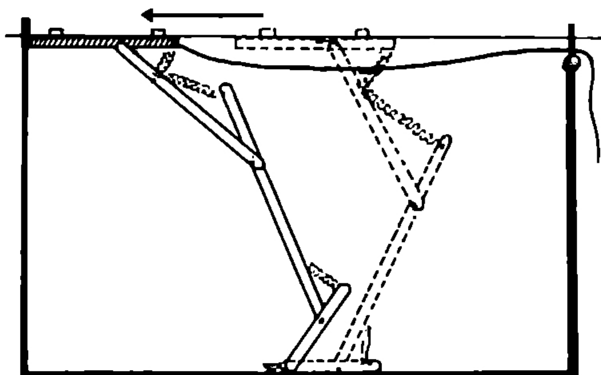


Három láb is elég ahhoz, hogy a ló szilárdan támaszkodjék. Kissé előredőlve súlypontja azon a háromszögön belül van, amelyet két elülső és jobb hátulsó lába zár be. Bal hátulsó lábát bármelyik pillanatban felemelheti

E törvényszerűség alapján két csoportra oszthatók a négylábú állatok. Az első típusba tartozók súlypontja mellső lábukhoz van közelebb. Ha nyugodtan áll a ló, gyakran felemelve tartja egyik hátsó lábát. Megteheti! Elülső két lába és támaszkodó hátulsó lába olyan háromszöget alkot, amelyen belül van súlypontja, sőt ha valaki felbosszantja, félelmetes erővel rúg hátra, anélkül hogy elveszítené egyensúlyát. Erre képesek a tehenek is, ezért járt pórul a kíváncsi Mehemed Móricz Zsigmond ismert gyermekversében.

A másik csoportban a nyulak, mókusok és medvék találhatók. Minthogy súlypontjuk a hátulsó két lábhoz van közelebb, bármikor könnyedén felállhatnak; gondoljunk csak a mogyorót rágcsáló mókusra vagy a cirkuszi medvékre. Ha a





Rugókkal modellezett állatláb. Minthogy a talaj súrlódása nem engedi elmozdulni a láb végét, ezért a test tolódik előre. A jégen azért nehéz járni, mert ilyenkor hiányzik a támasztó súrlódás

súlypont a két hátulsó láb mögé kerül, az állat hátrabukik. Hacsak nem támasztja meg testét. A természet ezt a lehetőséget is kipróbálta: a kenguruk például vastag, erős farkukra támaszkodva állnak két lábon, és hatalmas ugrásokkal közlekednek.

A technika világában természetesnek tűnik, hogy a gépkocsik kerekeken gördülnek, de a természetben nyomát sem találjuk ilyen megoldásnak. Az élővilágban nem fejlődhetett ki olyan „alkatrész", amely tengelye körül többször körbefordul, hiszen az állatok végtagjait idegek és vérerek hálózzák be, amelyek azonnal elszakadnának a végtag forgása közben. Hogyan működnek tehát a lábak?

Olyan kereket képzeljünk el, amelynek hat küllője van, és azonnal fény derül a természet egyszerű szabadalmára. Ez a hat küllő hat lábbal helyettesíthető úgy, hogy a talpak egymásba érnek. De a kerék folyamatos gördüléséhez nincs is szükség mind a hat lábra. Egyszerűen megtakarítható belőlük négy, ha az a láb, amely a folyamatos gördülés közben éppen felemelkedett a talajról, a másik elé siet, és mire rákerül a sor, újból a földre támaszkodik. Lényegében így jár az ember is.

A gépkocsihasonlat annak megértésében is segít, hogy a lábak miként viszik előre a testet. Különböző áttételek révén a motor elfordítja a kereket. Minthogy a gumiabroncsok a talajhoz tapadnak, a forgatóerő visszahat a gépkocsira, és magát a kocsit tolja előre. A két láb „hajtásához" olyan izmokra van szükség, amelyek elfordítják a talajnak feszülő lábat. A lábizmok összehúzódnak, s eközben maga a test mozog előre. Amikor az egyik láb már elvégezte feladatát, felemelkedik, és súlyánál fogva az ingához hasonlóan lendül újból előre. Ha mozgását az izmok gyorsítják, sebesebb a járás.

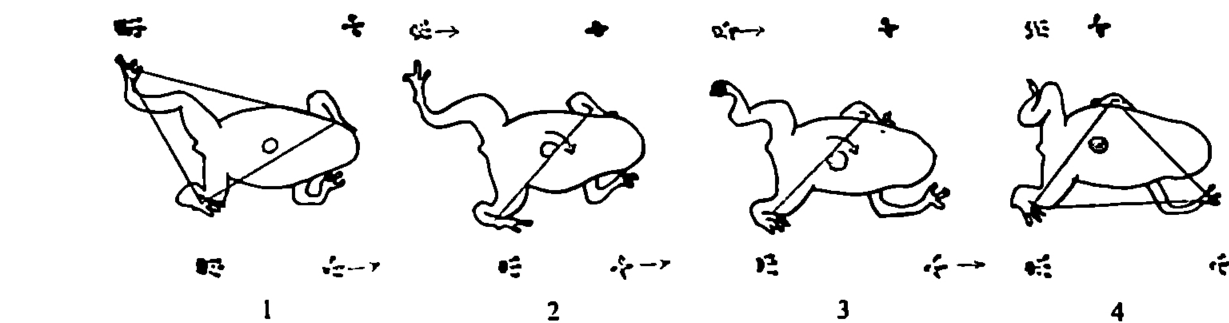
Lábak a levegőben

A négylábú állat járásának biztonsága abból következik, hogy haladás közben mindig csak egy lába van a levegőben. Ilyenkor még bármelyik pillanatban megállhat, ha veszélyt érez. Elvileg hatféle sorrendben rakosgathatók egymás után a lábak, de az egész négylábú állatvilágban legtöbbször ez a változat figyelhető meg: a bal hátulsó lábat a bal elülső emelése követi, majd a jobb hátulsó láb következik, végül a jobb elülső láb zárja a négyütemű lépést. Így megint ugyanolyan testhelyzetbe kerül az állat, mint ahogy elindult, tehát zavartalanul folytathatja a járást. Betűkkel jelölve – BH (bal hátulsó), BE (bal elülső), JH (jobb hátulsó), JE (jobb elülső) – a következő végtelen sort kapjuk: BH-BE-JH-JE-BH-BE-JH-JE-BH-BE-JH-JE. Ebből a sorból bárhonnan kiemelhető egy négyütemű szakasz! Így látszólag más lesz a lábak sorrendje, de a négylábú járás szempontjából ez mit sem változtat az alapképleten.

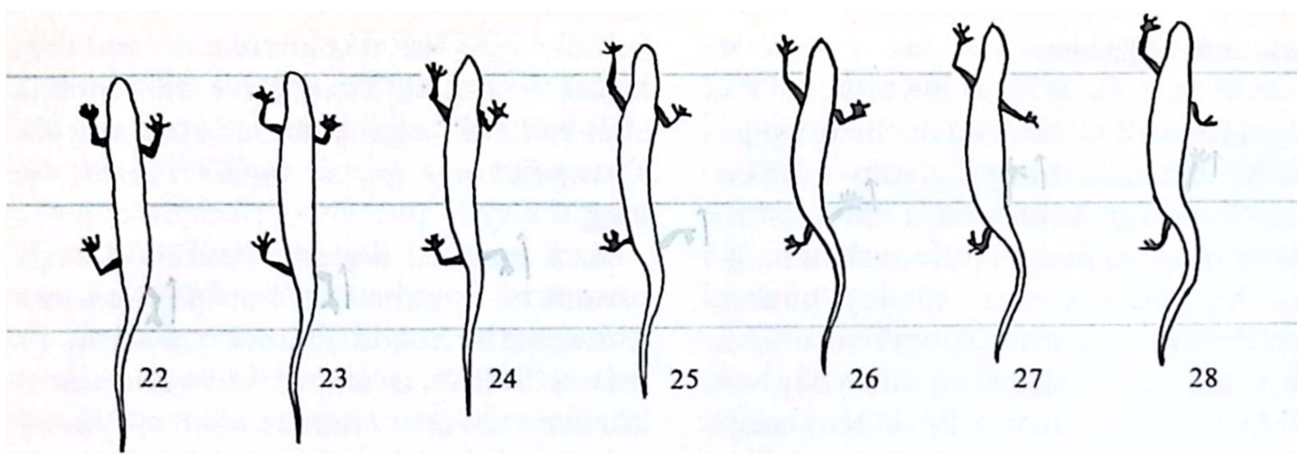
Miért éppen ez a sorrend alakult ki? Az állatok törzsfejlődésének logikus láncolatából következik. Amikor a kétéltűek megvetették lábukat a szárazföldön, mozgásuk még őrizte a halak S vonalú hullámait. A gyík, a tarajos gőte, de még a béka gerincén is ezek a testhullámok futnak végig haladás közben. S minthogy lábaik meglehetősen mereven vannak „beakasztva" a gerincbe, a lábak emelési sorrendjét is a gerinc hajlása határozza meg.

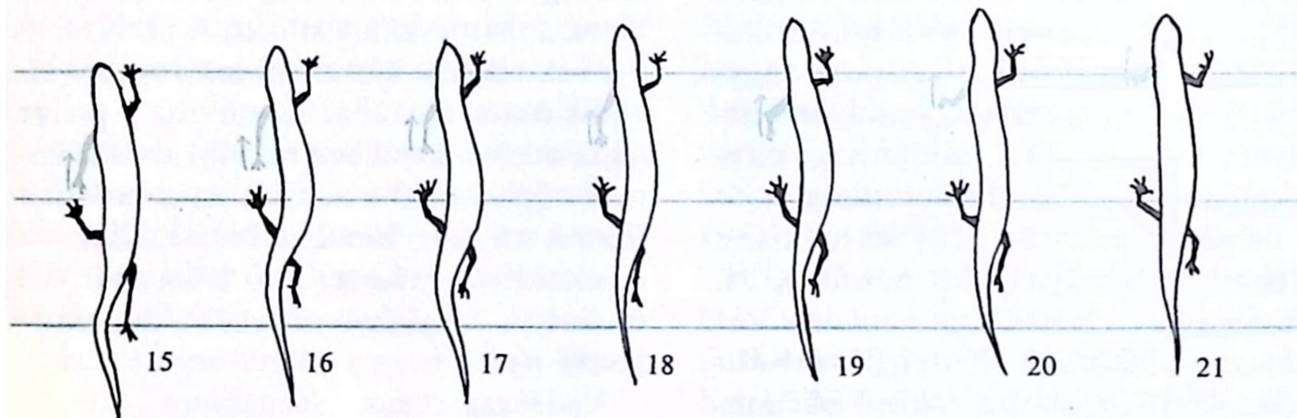
Ez a mozgási sorrend rendkívül hasznosnak bizonyult a későbbi fejlődés során a magasabb rendű állatok számára, de már a hüllők is élvezik előnyeit. Járás közben talajhoz tapadó három lábuk mindig olyan háromszöget alkot, amely biztosan támasztja testüket. A járás tehát a lábak alkotta háromszögek sorából tevődik össze, s az állat súlypontja a gerinc hajlása következtében mindig abba a háromszögbe tolódik át, amelynek sarkait a földön nyugvó lábak alkotják. Ezzel a módszerrel egy kényelmes béka akár 400 métert is megtehet óránként, ha nincs kedve ugrálni.

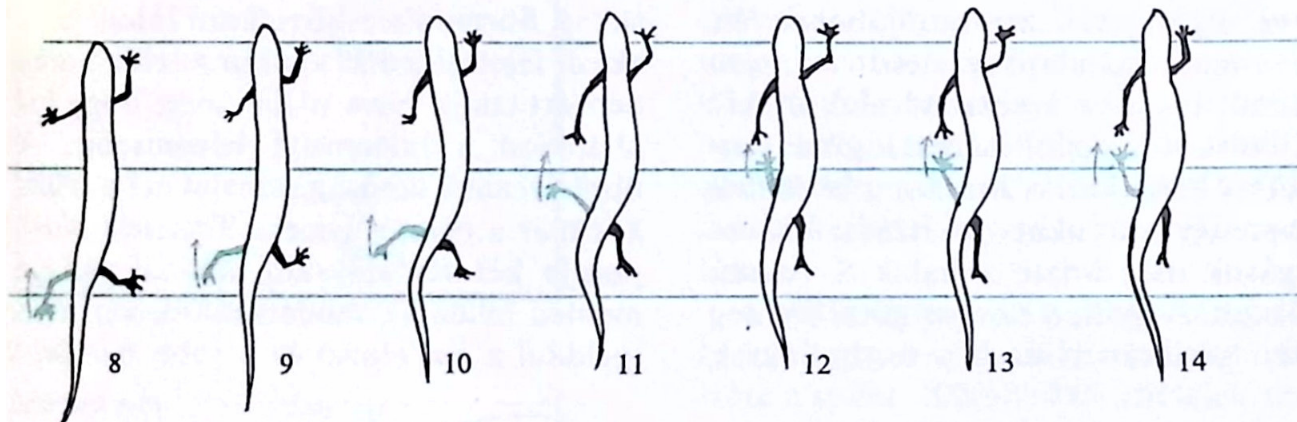
Vadászat vagy menekülés közben azonban növelni kell a sebességet. Ilyenkor az állatok érdekesen gyorsítják járásukat. Sorrendben következő lábuk már akkor felemelkedik, amikor az előző még nem ért talajt. Nem várják meg, hogy kialakuljon a biztonsági háromszög. A filmfelvételek tanúsága szerint ezt a trükköt már a béka is ismeri. Testének súlypontja két támaszkodó lábának átlója mentén billen át, mialatt másik két lába (például a bal elülső és a jobb hátulsó)

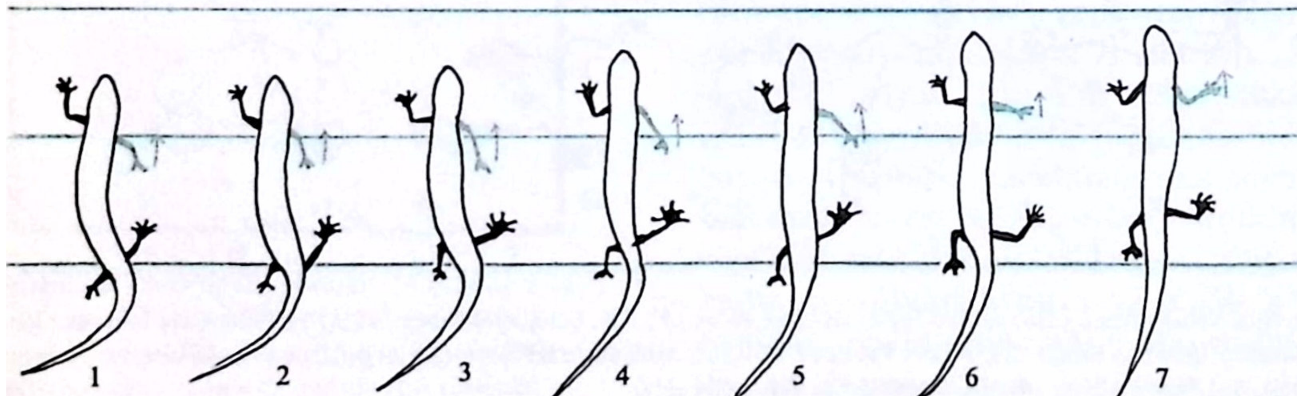


A gyorsan sétáló béka jobb elülső lábát nyújtja előre (1). De nem várja meg, amíg ez földet ér, hanem már bal hátulsó lábát is emeli (2). A két támaszkodó láb átlóján átbillenve (3), végül ismét biztonságos háromszögállásba kerül (4). Súlypontját a kék pont jelzi


22
23
24
25
26
27
28


15
16
17
18
19
20
21


8
9
10
11
12
13
14


1
2
3
4
5
6
7

egyszerre van a levegőben. Ez kétségtelenül meggyorsítja járását, hiszen nem kell megvárnia, amíg bal elülső lába földet ér, hogy csak azután emelje a jobb hátulsót. A béka ezt a gyorsítást minden négyütemű járási szakaszban kétszer tudja megcsinálni.

A ló és a többi patás állat továbbfejlesztett módszert használ. Járás közben a ló egyik lába mindig a levegőben van! Sőt ha teljes lépését – mialatt lábai ismét a kiinduló helyzetbe kerülnek – nyolc szakaszra osztjuk, megfigyelhetjük, hogy négy szakaszban egyszerre két lába van a levegőben. Csak ügyességi versenyeken látható néha olyan gépkocsi, amely két oldalsó kerekére billenve halad. A ló ugyanezt könnyedén megcsinálja két lábával anélkül, hogy odafigyelne.

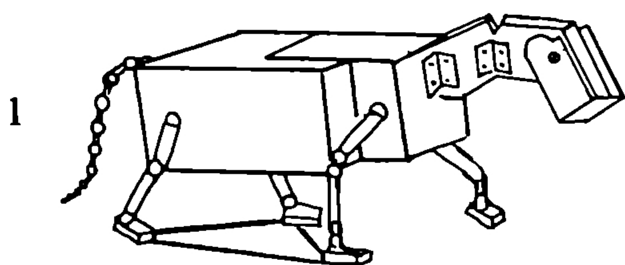
Az ember ősidők óta figyeli az állatok járását, s a barlangrajzoktól a XX. századi festményekig évezredeken át igyekezett megragadni a négy láb mozgásának egyes pillanatait. Nem sok sikerrel! Hiszen a négylábú állatok járása csak azóta elemezhető pontosan, amióta fényképező- és filmfelvevő gépek állnak a kutatók rendelkezésére. Furcsa módon az első kezdetleges mozgástanulmányok óta nem jelent meg sok leírás az állatok mozgásáról. A ló járásának és futásának elemzésére például még ma is az angol E. J. Muybridge elég kezdetleges felvételeit használják. A lelkes kutató annyi fényképezőgépet helyezett el a lovaglópálya mentén, ahány képkockán akarta rögzíteni a ló járását. Mindegyik kamera zárkioldójáról vékony fonalat vezetett a pálya túlsó széléig. Amint a ló haladt, sorra elszakadtak a szálak, és a kamerák exponáltak. Ma is meglepő, hogy a türelmes fotóamatőr 1870 táján már olyan fényképeket készített, amelyek hatezred másodperces megvilágítási idővel rögzítették egy vágtató ló mozdulatait.

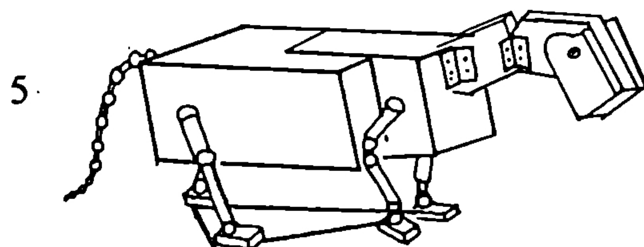
◀ Siető tarajos gőte mozgása. Először jobb elülső lábát nyújtja előre (1–7), azután bal hátulsó (8–14), majd bal elülső lába következik (15–21), végül a jobb hátulsó zárja a teljes lépést (22–28). Ha lassan jár, mindig három lábára támaszkodik. Itt megfigyelhető, hogy mozgó lábával együtt átellenes végtagja is előrecsúszik közben

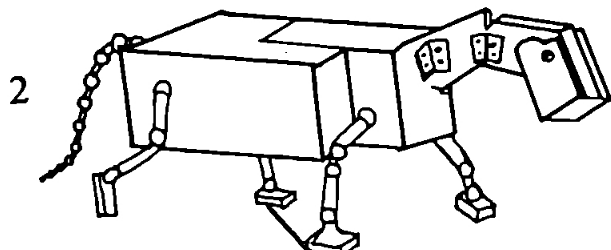
A mozgáselemzés még napjainkban is sok gondot okoz a kutatóknak. Lewis S. Brown amerikai biológus például egyszerű modellt készített falapokból, rudakból és golyókból. Az alkatrészeket könnyen mozgathatóan erősítette össze, így a kis szörnyszülött, ha nem is hasonlított egyetlen négylábú állatra sem, mégis segítséget nyújtott a járás kérdéseinek tisztázásában.

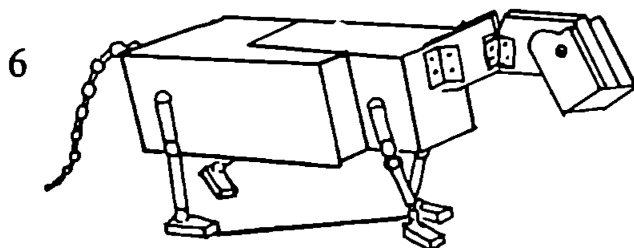
Számos fénykép- és filmfelvétel áttanulmányozása alapján Brown pontosan ugyanazt a mozgássort kapta, amelyet James Gray pusztán elméleti úton vezetett le. A tréfásan tudományos nevű modell – a Carneirotherium – nyolc mozdulata rögzíti legpontosabban a teljes lépés egyes szakaszait. Már az indulása is érdekes! Brown megfigyelése szerint nyugodt álló helyzetből a ló mindig úgy indul, hogy bal hátulsó lábát emeli először, akárcsak a többi négylábú állat. Ha a ló csak arrébb poroszkál, néha a másik lábát emeli először, de nem tesz meg egy teljes lépést. Nem is tehet, mert akkor lépészavarba kerül.

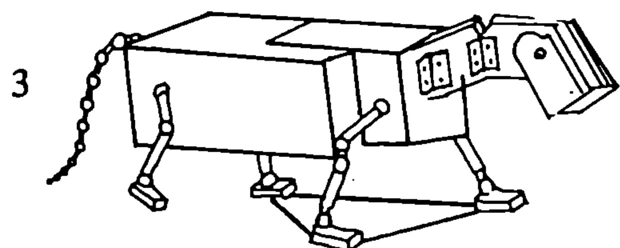
A teljes lépés nyolc szakaszának elemzését legjobb azzal a helyzettel kezdeni, amikor a két hátulsó láb és a jobb elülső láb háromszöge biztosan támasztja alá a ló testét. Ilyenkor a bal elülső láb éppen előrelendül. A 2. mozgásszakaszban a ló már felemeli a jobb hátulsó lábát is, amikor a bal elülső még nem ért földet. A test súlypontja ekkor a bal hátulsó és a jobb elülső láb átlója körül billen előre. A 3. szakasz ismét biztos pillanat: a két

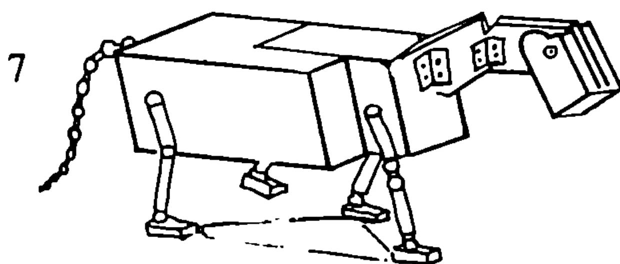


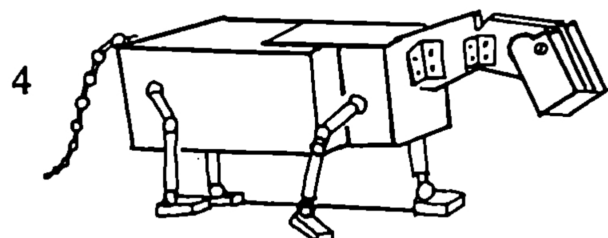


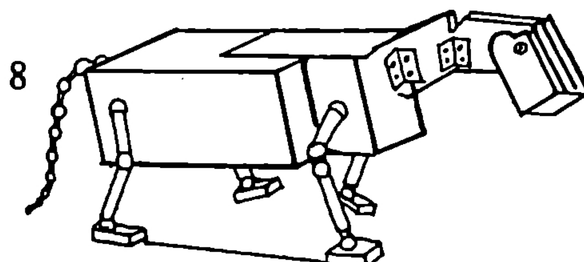












Nyugodt járás közben a legtöbb négylábú állat hol három, hol két lábára támaszkodik váltakozva. A „bizonytalan" kétlábú szakaszokat mindig a biztos alátámasztás háromlábú szakaszai követik. Az egyszerű modell (a Carneirotherium) egy teljes lépés nyolc mozdulatát mutatja be

„átlós" láb és a földre érkező bal elülső láb alkot háromszöget.

A 4. szakasz a legérdekesebb. A ló nem várja meg, amíg előrelendülő jobb hátulsó lába földet ér, hanem felemeli jobb elülső lábát is. Néhány pillanatig két bal lábára támaszkodva egyensúlyoz! Mozgás közben ez nem is megy nehezen, mert amikor a 3. szakaszban háromszögállásba billen a test, egyúttal oldalra lendül a súlypont, így a 4. szakaszban az állat könnyebben egyensúlyoz két oldalsó lábán.

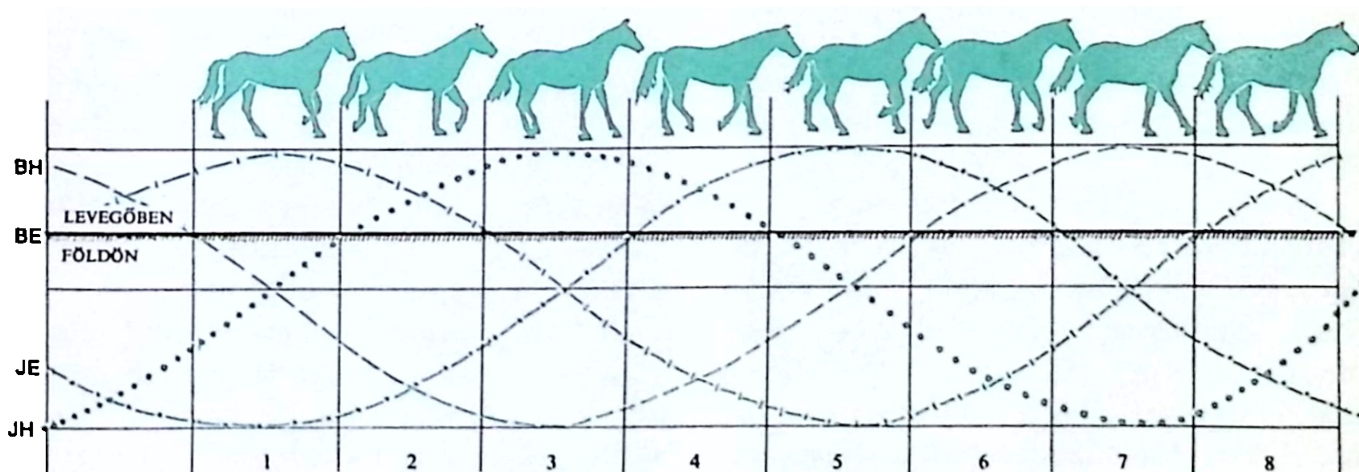
De ez a bizonytalanság nem tart sokáig. Az 5. szakaszban földet ér a jobb hátulsó láb, így ismét szilárd háromszögön nyugszik a test. Ezután ugyanaz a mozgássorozat ismétlődik, mint az első négy szakaszban, csakhogy most úgy emelkednek az állat lábai, mintha az előzőkhöz

képest egy oldalt álló tükörben látnánk mozgását. Így az 5. szakasz háromszöge után ismét „átbillenés" (6.), majd egy elülső háromszög (7.) következik, végül két jobb lábára billen az állat (8.), s a 9. mozgásszakasz már pontosan egyezik a kiinduló szakasszal.

Ez a lójárás valójában nem olyan bonyolult, mint amilyennek a leírásból tűnik. A Carneirotherium mozdulatainak rajzsorozata mindennél ékesebben beszél. De arra is figyelmeztet, hogy ezek a villanásnyi szakaszok rendkívül nehezen figyelhetők meg az állatok járása közben. Nem csoda, hogy egy-egy téves mozdulatrajz évezredeken át öröklődött a művészetben az ókori görögöktől napjainkig. L. S. Brown véleménye szerint a világ valamennyi festményének és szobrának több mint a felén hibás az állatok mozgásábrázolása.

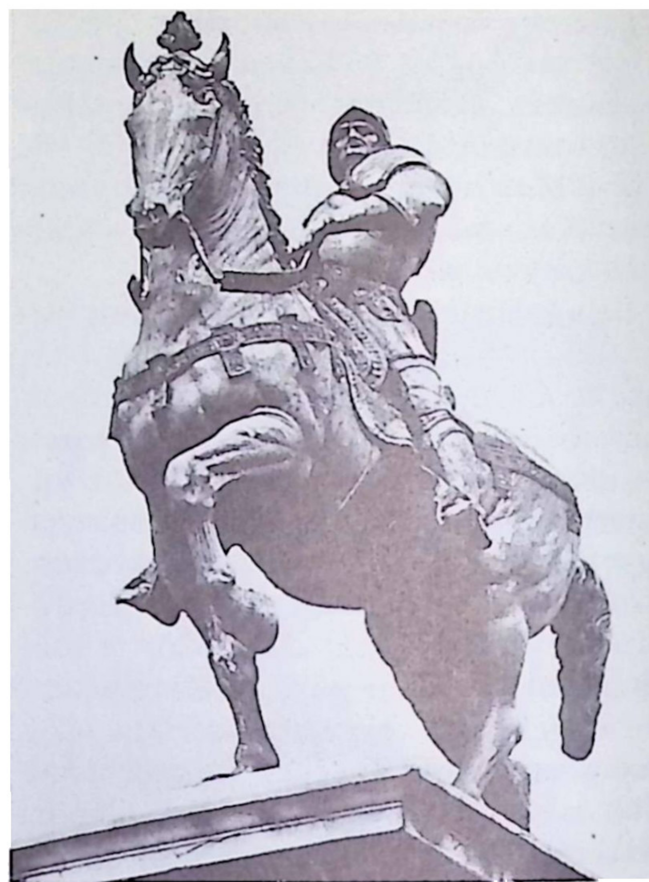
A hibás ábrázolás hagyománya néha kormeghatározó jelentőségű. Ez is segítette a kutatókat abban, hogy a New York-i Metropolitan Művészeti Múzeum egyik állatszobrát leleplezzék. 1967-ben fogott gyanút az egyik muzeológus, hogy a 2400 évesnek hitt görög bronzlovacska hamisítvány. Az egymásnak ellentmondó adatok sorában érdekes, döntő érv akadt: a szobor csaknem tökéletesen ábrázolja a ló mozgását, tehát nem valószínű, hogy görög művész készítette. A hamisító éppen a helyes mozgásábrázolással hibázott.

Most már magunk is vadászhatunk a művészettörténeti könyvekben vagy a tereken olyan lovakra, amelyek ha megelevenednének, azonnal belezavarodnának lépteikbe, vagy a következő pillanatban éppen felborulnának. Rómában a Piazza del Campidoglión áll például Marcus Aurelius római császár remekbe készült lovas szobra. De hiába a drága érték, az aranyozott bronz, ez sem tünteti el a művész tévedését: a ló természetes járásában ilyen mozgáspillanat nem létezik. Ez persze mit sem von le az alkotás művészi értékéből; a művészi mondanivalón van a hangsúly, nem a megjelenítés pontosságán. Érdekes, hogy Donatello, majd Verrocchio, a reneszánsz kor két nagyszerű művésze, akik példaképnek tekintették ezt a szobrot, talán észrevették ezt a hibát,



A ló nyugodt járásában tökéletes szépséggel tűnnek elő a szabályos ritmus sinusvonalai. A négy görbe a négy láb helyzetét jelzi: melyik van a levegőben és melyik a talajon az egyes szakaszokban.
A talajszinten a görbék metszéspontja azt a pillanatot jelzi, amikor egy láb éppen földet ér vagy felemelkedik. (BH = bal hátsó, BE = bal első, JE = jobb első, JH = jobb hátsó láb)



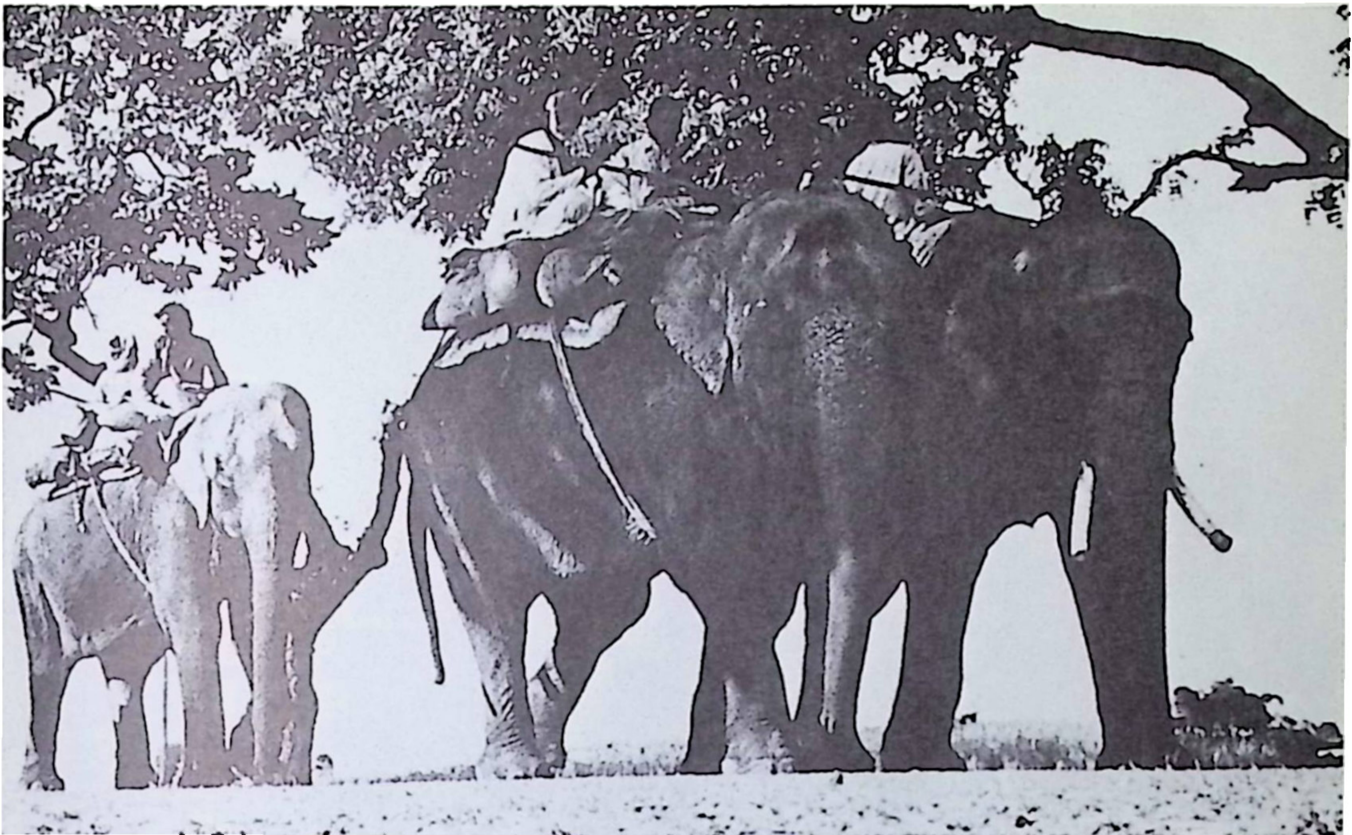


Marcus Aurelius császár lova most kezdi emelni bal hátulsó lábát, hogy szilárd háromszögállásból átbillenjen jobb hátulsó és bal elülső lábának átlóján. Csakhogy a természetes lójárásban ilyen hegyesszögű háromszög nem alakul ki, mert ennek támasztóterülete kisebb, mintha a jobb elülső lábbal alkotna háromszöget. Andrea Verrocchio mester a mintaképül választott szoborhoz képest nyilván ezért cserélte fel Colleoni zsoldosvezér lovának két elülső lábát. Voltaképpen még ez sem tükrözi pontosan a természetes lójárás pillanatát, mert egyes szakemberek szerint ezeket a lovakat a himbáló ritmusú tevejárásra tanították be

mert Gattamelatát, illetve Colleonit már olyan lovakon ábrázolták, amelyek valódi járás közben dermedtek örök mozdulatlanságba.

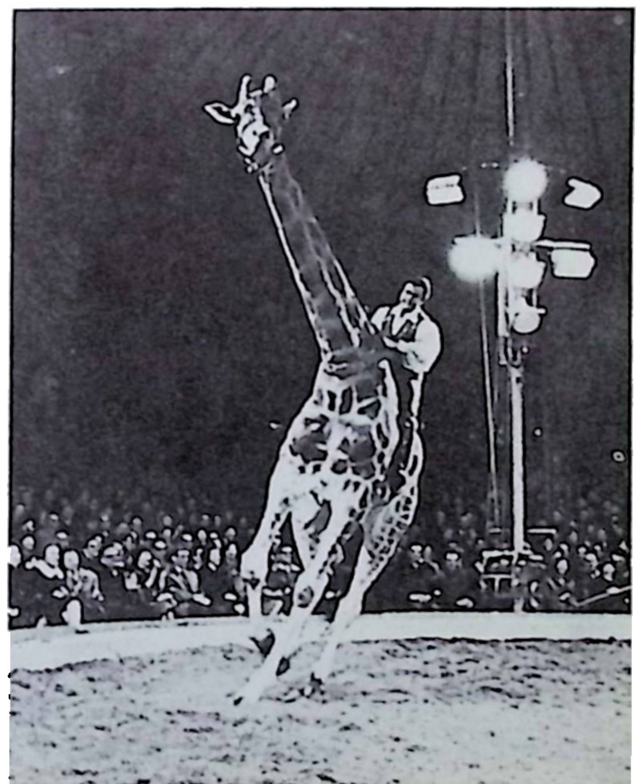
A teve és a zsiráf más ritmusban rakosgatja lábait. Anna Innis Dagg svéd kutató, aki főként a járás közben mozgó zsiráfnyakra volt kíváncsi, fényképeinek elemzéséből arra következtetett, hogy a „póznanyakú" állat hol a jobb, hol a bal hátulsó és elülső lábát lendítve halad előre. Ebből a szempontból P. P. Gambarjan szovjet kutató 1972-ben megjelent könyve nyújtja a legteljesebb összefoglalót a különféle négylábú állatok haladási módszeréről. Csak ennek olvastán lepődhetünk meg igazán, hogy a lábak sokféle mozgásának ritmusa milyen nehezen szorítható néhány alapképletbe a sétától a rohanásig. Itt csak arra van lehetőségünk, hogy a legáltalánosabb mozgási típusokat vegyük szemügyre.

A zsiráfot még a nyaka is segíti ebben a furcsa járásban: a mozgáselemzés azt mutatja, hogy haladás közben hol előrehajlik, hol ismét hátralendül. Ha táblázatba foglaljuk a hajlásszögeket, ismét megjelenik a sinusvonal, s összevetve a járással, meglepő az egyezés: amikor az állat két lábra „billen", a nyaka is előre

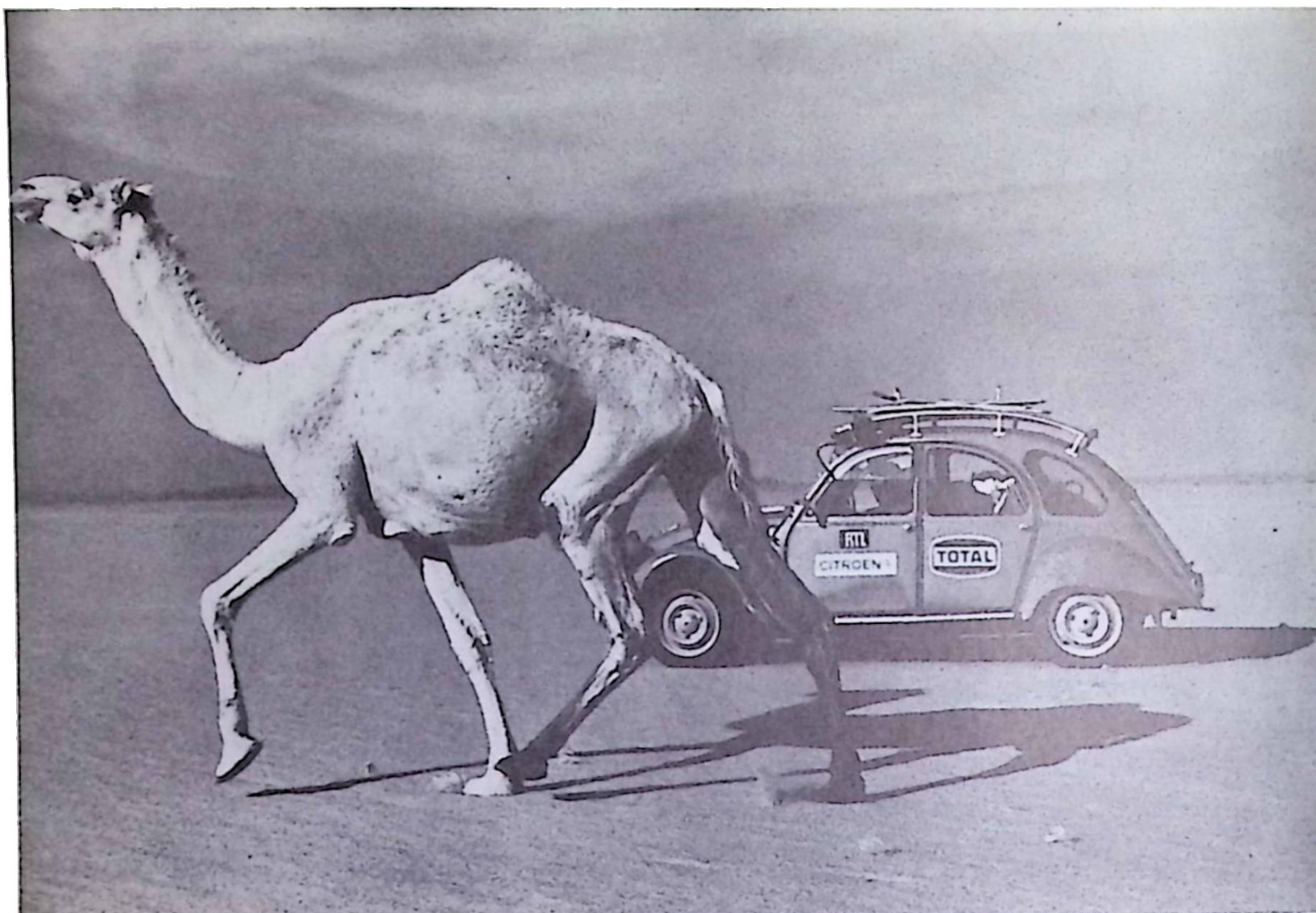


Pillanatképek a négylábú járás szakaszaiból. A kép közepén ballagó elefánt éppen háromszögállásba került, eközben nyugodtan emeli bal hátulsó lábát





A mexikói fehérfarkú őz éppen bal elülső és jobb hátulsó lábának átlóján billen át. Az ügető zsiráf balra dől, amint bal elülső és bal hátulsó lábára helyezi át súlypontját



A teve járási ritmusa nem olyan egyenletes, mint a lovaké. De ebben is megfigyelhető olyan pillanat, amikor az állat két oldalsó lábon lendül tovább

hajlik, ami szintén lendületet ad. A hátsó háromszögállásban viszont hátrahajlik, hogy a súlypont a háromszögön belül maradjon.

Noha az állatok járás közben végzett fejmozgásáról még nem sok elemzés jelent meg, bizonyos, hogy minden négylábú állat nyakának hajlásszöge pontos ritmusban van járásával. Sőt valószínű, hogy segíti az ütemes mozgást. Ha a ló például felemeli fejét, súlypontja kissé hátrább tolódik, leszegett fejjel pedig súlypontja előbbre kerül. A nyak „játékában" így hasonló hullámmozgás figyelhető meg, mint ami a halaktól a hüllőkön keresztül a négylábú emlősökig öröklődött valamennyi állat mozgásában a törzsfejlődés folyamán. A ritmikus sinushullám tökéletesen bevált!

Sétáló gépek

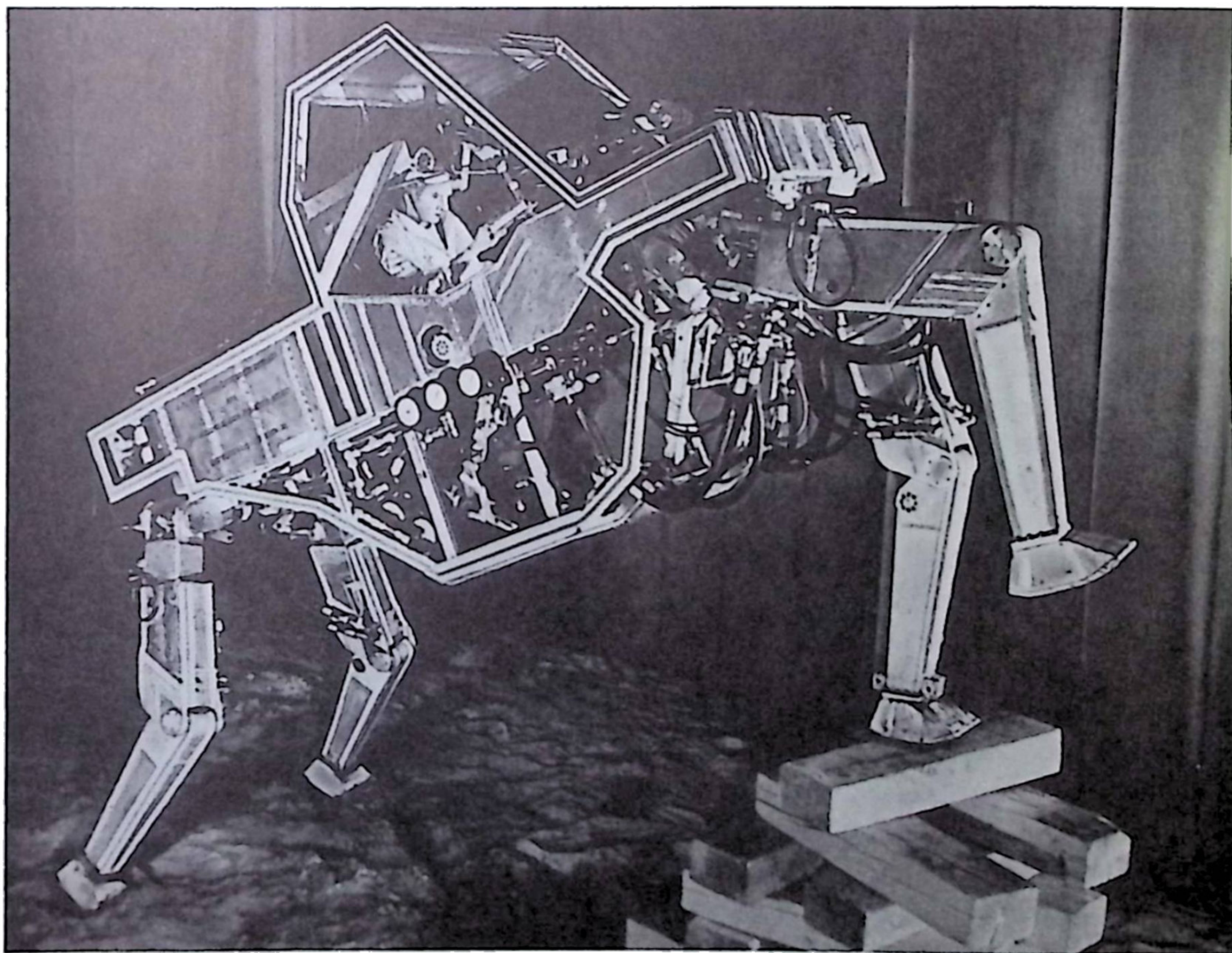
Mennyivel könnyebb dolguk volt lóháton kocogó őseinknek! Bármerre indultak, erdőn-mezőn kényelmesen barangolhattak. A városi gépkocsik áradatában lassan elfelejtjük, hogy lovak is léteznek. A diadalmas kerék végiggördül az egész világon – legalábbis ott, ahol utak vannak, mert a sziklás, homokos területeken már rendszerint csődöt mond.

Korunk mérnökei egyre világosabban látják, hogy a kerék nem mindig áll helyt a közlekedésben. Néha jobb szolgálatot tennének a géplábak, csak az a kérdés, hány lábuk legyen az efféle járműveknek. A természet ugyanis bőséges választékot kínál. Valószínűleg az a dél-afrikai „óriás ikerszelvényes" tartja a rekordot, amely-

nek összesen 680 lába van. Hogyan lehet ennyi lábbal közlekedni? Aránylag egyszerűen. Mindegyik láb egy pillanattal később érinti a talajt, mint az előző. Ahogyan a lábak mozgatási parancsa végigfut az állat testén, úgy emelkednek a levegőbe és ereszkednek a talajra az apró végtagok. Oldalról nézve így a megnyúlt testű állat végtagjain az ismert hullámmozgás fut végig. Amilyen sebesen halad hátrafelé ez a látszólagos hullám, ugyanolyan sebesen halad előre maga az állat.

Ennek mintájára az angol M. W. Thring professzor terepjáró „százlábú"-t szerkesztett, de modelljének mozgását lényegesen leegyszerűsítette. A rugózó lábak végtelenített acélszalagra erősítve jönnek előre a jármű alján, így hozzájuk képest a jármű mozdul előre. Amelyik láb a gép végén felemelkedik a talajról, a futószalagon ismét előrevándorol, hogy újabb támaszul szolgáljon. A számítások szerint ez a teherszállító jármű óránként 50 km-es sebességet is elérne, ha megépítenék. De még túl kezdetleges ahhoz, hogy valódi méretű példányt készítsenek belőle.

Nyolclábú kocsit viszont életnagyságban is készítettek már az amerikai űrkutatási hivatal szakemberei. A gép váltogatva emeli négy-négy lábát, így egyenetlen talajon is könnyen közlekedhet. Kor-



Féltonnás terhet vihet úttalan utakon az amerikai gépló. Szerkezeti felépítésében az a legfurcsább, hogy hátulsó lábai ugyanabban az irányban törnek meg, mint az elülsők. Holott minden négylábú állat hátulsó végtagjának „térdhajlata" hátrafelé néz

mányzása egyszerű, villanymotorját akkumulátorok táplálják, kezelése szinte gyerekjáték. Egyik felhasználási lehetősége a béna gyermekeken segít: ilyen kocsiban ülve még lépcsőkön is felmehetnek.

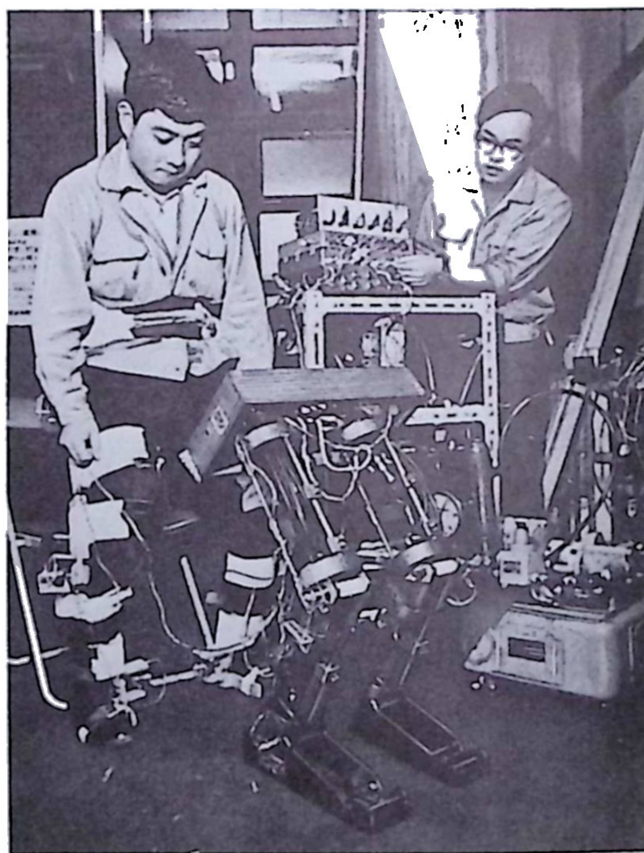
1970-ben egy gépló kísérleti példánya is elkészült. A 3,3 m magas, 1350 kg súlyú monstrum 8 km-es óránkénti sebességgel haladhat, ha vezetője ügyesen vezérli acéllábainak mozgását. A gépló ugyanis különös parancsra jár: a vezetőfülkében álló kezelő mozdulatait utánozza négyszeresen felnagyítva. Ha a „lovas" felemeli például a bal kezét, a ló bal mellső lába hasonló mozdulatot tesz. Ha a kezelő egy helyben jár, a hozzá kapcsolt mechanikus érzékelők ugyanabban az ütemben rakosgatják egymás után a gépló hátulsó lábait.

A régebbi járó-kelő robotberendezésekhez képest ezzel először sikerült megvalósítani, hogy a kezelő is érezze, hová lépnek a géplábak, és milyen erővel nyomódnak a talajhoz. Az erőérzetet hidraulikus rendszer közvetíti a vezérlőfülke gépkarjaiba. Kellő gyakorlattal a géplovas akár behunyt szemmel is irányíthatja a „ló" mozgását, sőt még olyan bizonytalan egyensúlyi átmeneteket is beiktathat a járásba, amilyeneket a ló alkalmaz.

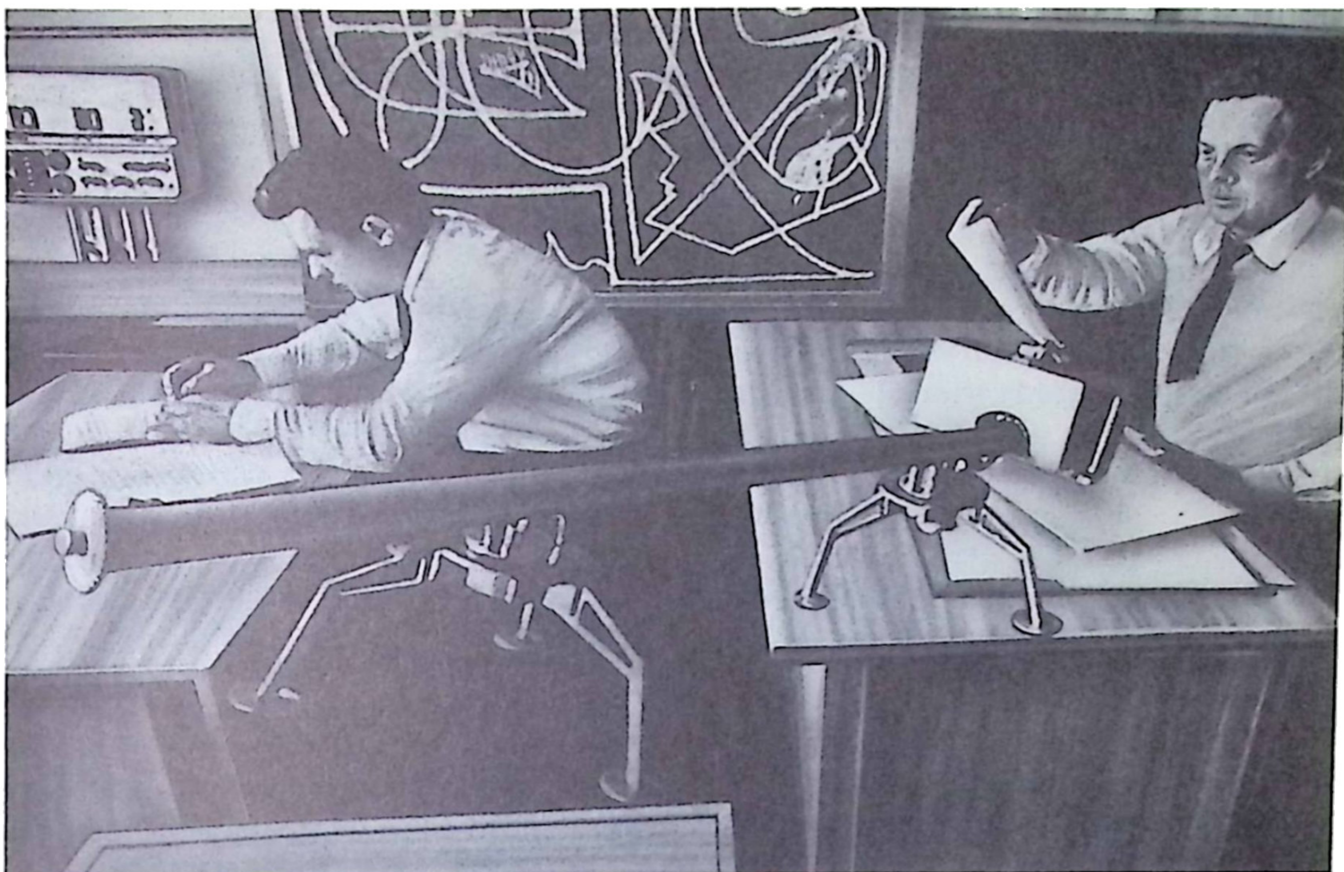
Julius Mackerle cseh mérnök viszont a százlábúak hullámmozgását igyekszik kerekekre vinni a jövő terepjárójának megvalósítása reményében. Minden keréken 12 gumilabda-rugalmasságú légtartály sorakozik, s ezek egymás után felfúvódva ugyanúgy hajtják előre a szerkezetet, mintha lábakon járna. Noha a Rotoped „labdakerekein" folyamatos hajtóerő keletkezik, valószínű, hogy ez az út nem járható a jövő terepjáróinak szerkesztői számára.

Még mindig a négy láb tűnik a legegyszerűbb megoldásnak. Csakhogy mechanikus szerkezetekkel utánozni egy láb minden porcikáját szinte lehetetlen, és a lábak mozgásának összehangolása sem könnyű. A. Frank amerikai professzor néhány éve olyan quadrupedet (négylábút) szerkesztett, amelynek „végtagjai" csak csípőben és térdben hajlíthatók egy-egy beépített apró villanymotorral. Ezt a szerkezetet viszont könnyebb vezérelni, mint az óriás géplovat. Elektronikus számítógép küldi a lábak villanymotorjaiba a villamos parancsokat. Ha egyszer a „gépagy" emlékezetébe véste azokat az elektromos jeleket, amelyek az egyes lábak helyzeteit és állásszögeit jellemzik, ettől kezdve megfelelő sorrendben osztogatja vezérlési parancsait a négy lábnak.

A kísérleti példány egyelőre szűk labo-



Még ügyetlenül lépked, de már azoknak a robotoknak az előfutára, amelyek két lábon járva közlekednek majd.
Japánban a Waseda Egyetem kutatói az emberi léptek utánzására szerkesztették ezt a robotlábat, amelyet a kísérletező vezérel



G. P. Katisz szovjet professzor intézetében ügyesen „lép át” egyik asztalról a másikra a kísérleti terepjáró. Súlypontját a tengely jobb végén elhelyezkedő vezérlőegység alkotja. Ha a bal oldal már szilárdan támaszkodik, a tengelynek erre a végére siklik át a doboz

ratóriumban tanul járni, és a vezérlő komputerből kábelkötegen át kapja a villamos parancsokat, de nem lehetetlen, hogy néhány év múlva a komputerek térfogatának csökkentése nyomán közvetlenül a járógépre is felszerelhetik a számítógépet. Ha a villamosenergia-ellátás problémáját is sikerül megoldani, nem elképzelhetetlen, hogy ez a berendezés lesz a jövő évszázad terepjárója.

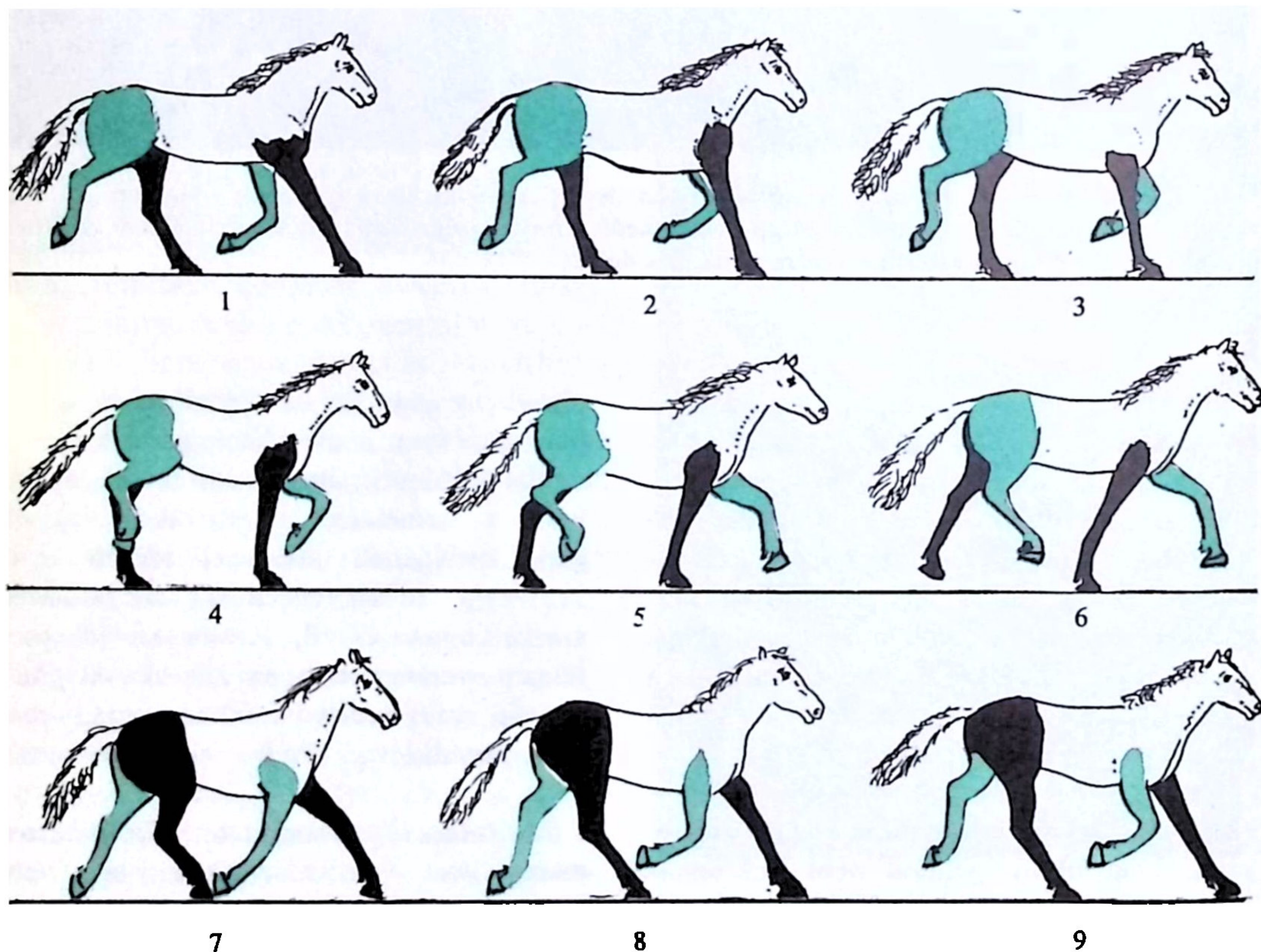
De ezek a szerkezetek még messze vannak az állatok mozgásának tökéletességétől. Legtöbbjük például nem tud felkapaszkodni egy lépcsőn. Egyes kutatók ezért a kerék irányából próbálják megközelíteni a lépcsőn sétáló terepjárót. Thring professzor például olyan kocsit tervezett, amelynek kerekeiből apró acéltüskék nyúlnak ki, ha lépcsőhöz ér a jármű. Általában a mérnökök azzal a dilemmával küzdenek, hogy nem tudják eldönteni: a természetet utánozzák-e, vagy a gépek világának törvényei szerint igyekezzenek továbbfejleszteni a járó-kelő szerkezeteket. G. P. Katisz szovjet professzor mindenesetre az állatok súlypont-eltolási művészetét tanulmányozta, amikor megalkotta *Vándor* nevű terepjáróját.

A furcsa szerkezetnek három-három merev lába van, amelyek egy-egy apró „piramist” alkotnak. Ezeket a berendezés rúd alakú törzse köti össze, amelyen a gép vezérlőegysége és energiaellátó rendszere foglal helyet. Ez a doboz fogaskeréklánccal hajtva, a törzs bármelyik végébe el-

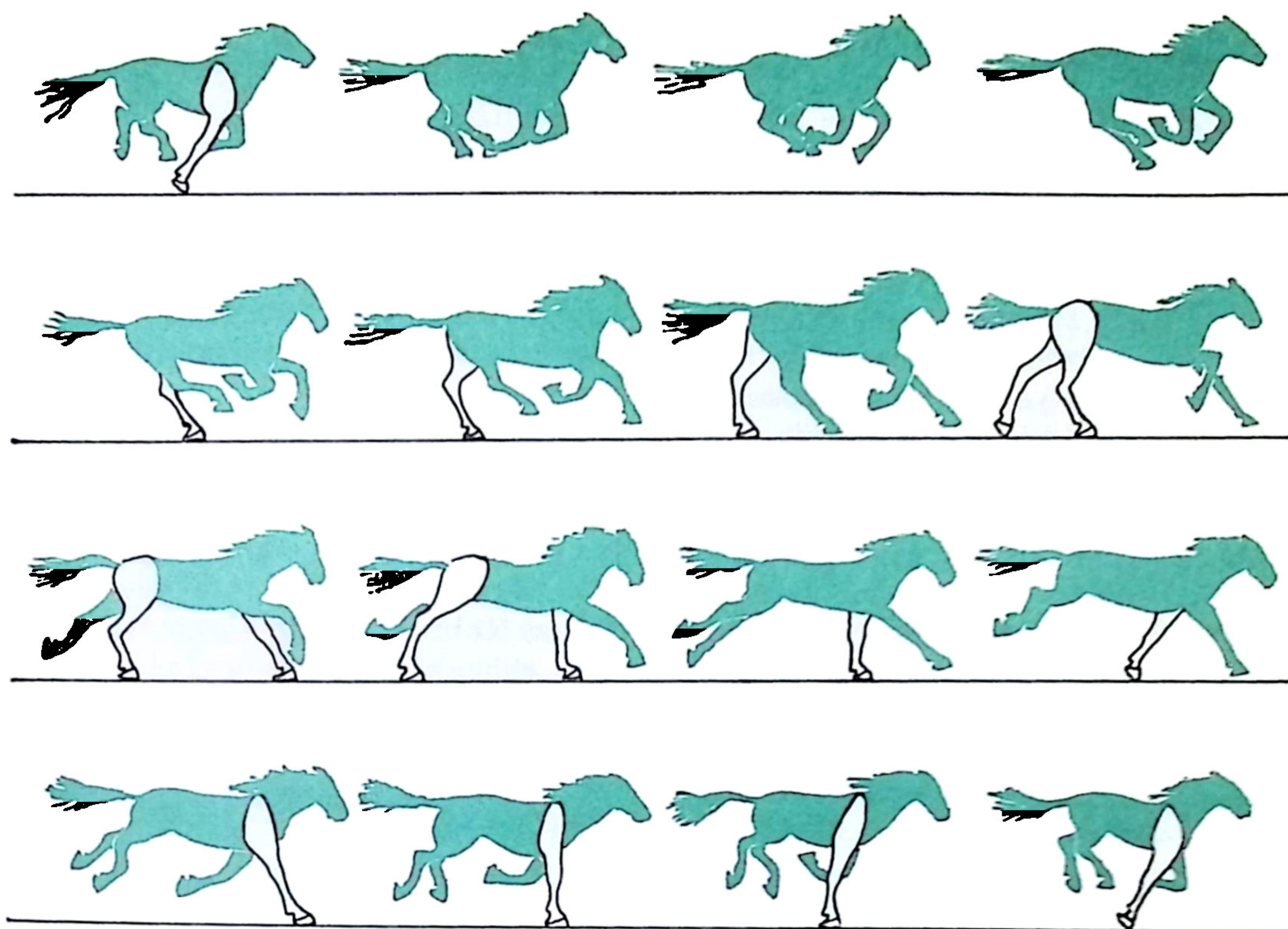
csúszhat. Ahogyan a négylábú állatok járás közben változtatják súlypontjukat, ugyanígy a *Vándor* is csak akkor emeli fel törzsének valamelyik végét a három lábbal, ha súlypontja a törzs másik végében van. A tengely ekkor elfordulva új támaszt keres, és ha az érzékelők szilárd pontot jeleznek, a leereszkedő lábak nyomán a súlypont átgördül erre a rúdvégre, a terheletlenül maradt vég pedig a magasba lendül. A szerény *Vándor* nemcsak a Földön alkalmazható a geológiai kutatásban, hanem nagy segítséget nyújthat idegen égitesteken is, ahol a felderítő robotgépnek önállóan kell döntenie, biztos támaszt nyújt-e számára a következő lépés. Noha 1971-ben csak a *Vándor* asztali modellje készült el, bizonyosan hallunk még róla.

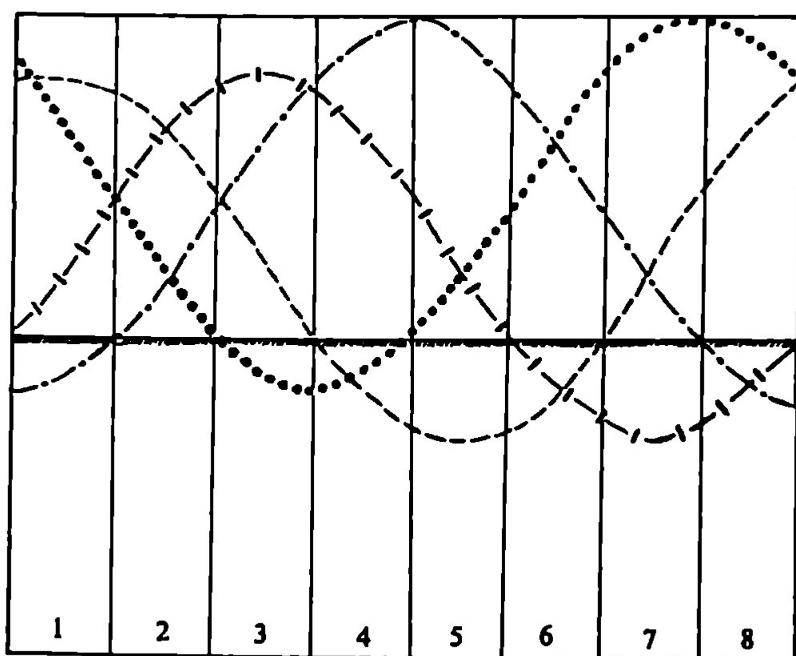
Eltűnt léptek

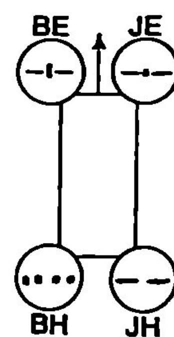
Ha a négylábú állat futni kezd, megváltozik lépteinek ritmusa. A ló vagy a zebra futását elemezve világossá válik, hogy a szilárd támaszkodás pillanatai, a három láb alkotta háromszögek teljesen eltűnnek. E „türelmetlen" járás során az állat nem várja meg a kialakuló háromszögeket, mert közben már soron következő lábát emeli. Így alakul ki az ügetés rit-



Ügetés közben a ló két-két lába érinti egyszerre a földet. Ez az átbillentés a testátlók mentén olyan szabályos mozgássorozat, amely egyenletes és gazdaságos energiafelhasználásra nyújt lehetőséget hosszú távon az állat számára







A vágtató ló sohasem támaszkodik három lábbal a talajra. Sőt időnként mind a négy lába a levegőbe lendül. Alsó ábránkat érdemes összevetni a 43. oldaléval. Vágtában a ló a 4., 6. és 8. szakaszban két lábra,
az 1. és 3. szakaszban csak egy lábra támaszkodik,
a 2. szakaszban pedig szinte repül

musa, amikor mindig két láb érinti csak a földet.

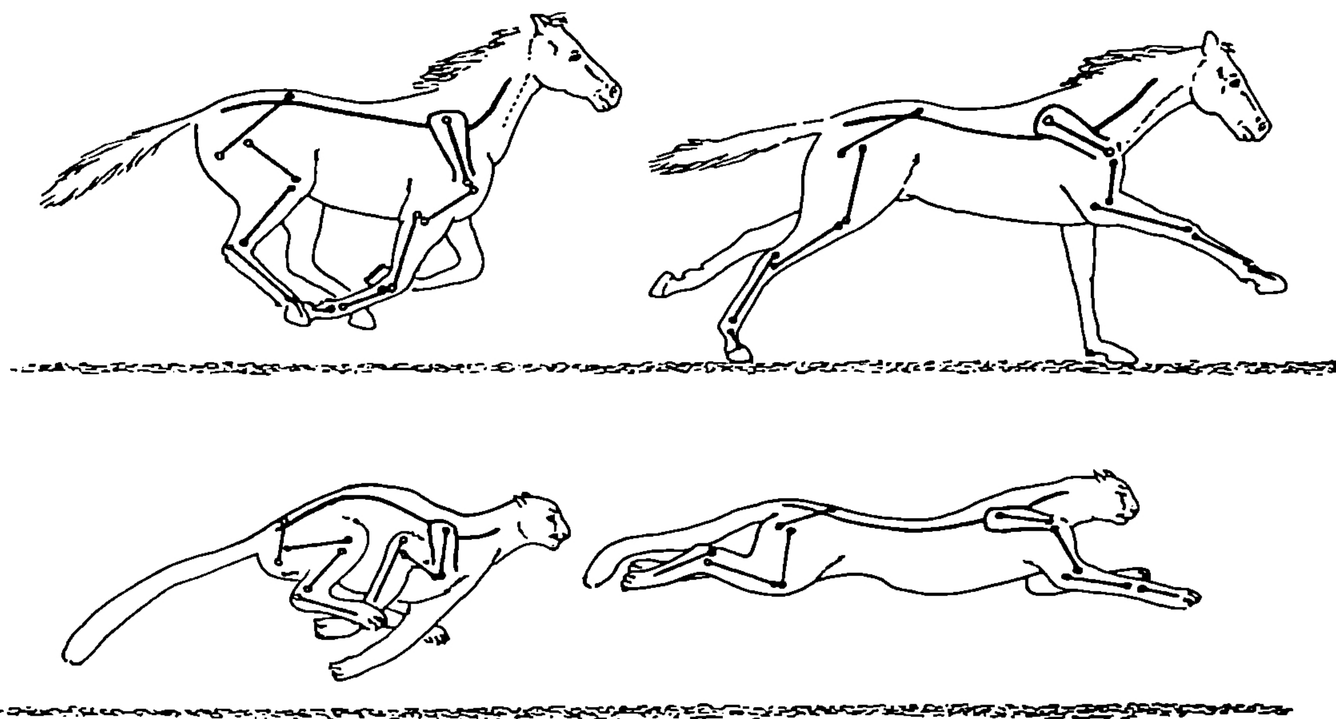
Ilyenkor a ló teste például a bal hátulsó és a jobb elülső láb alkotta átló körül „billen” balra előre, de a jobb hátulsó és a bal elülső láb egyszerre ér földet; ezek újabb átlót alkotnak, s ekkor jobbra-előre billenés következik. Az állat szinte cikcakkban szalad, s csak úgy tudja fenntartani egyensúlyát, ha elég gyorsan vált át a következő kétlábas támaszba.

A négylábú haladás leggyorsabb változata a vágta. Két lábnál több sohasem érinti a földet! De vannak olyan szakaszok is, amikor csak egy láb dobban a földre. Ilyenkor a járás már voltaképpen ugrások sorozatából áll, s ha az állat teste megkapta a lökést, szinte a levegőben úszik. Ezzel a módszerrel válnak a négylábú állatok léptei a leghosszabbakká. A mérések szerint egy-egy „teljes lépés” a vágtató lónál 6,9 méterre nyúlik, a kisebb testű gepárd pedig még hosszabb „léptekkel” haladhat. M. Hildebrand vizsgálatai szerint a négylábú állatok között a gepárd a futóbajnok: óránként 110 km-es sebességet érhet el. A ló másodpercenként „csak” 2,5 teljes lépést tesz, a gepárd viszont 3,5-et. Ezt a gyorsaságot néhány érdekes biomechanikai „szabadalom” is elősegíti a vágtató állatok testében.

Annál gyorsabb például a futás, minél közelebb van a lábakon a combcsont forgáspontjához mozgás közben a combot „lengető” izmok csatlakozási helye. Más állatokhoz viszonyítva így ugyanolyan hosszú lábbal gyorsabb mozgás érhető el. Igaz, ehhez nagyobb izomerőre van szükség, de nem kell az izomnak gyorsabban összehúzódnia, csupán nagyobb erőt kell kifejtenie. Ugyanolyan fizikai törvény érvényesül, mint a sepregetésnél: minél közelebb fogjuk a végéhez a söprű-



Az állatvilág kengyelfutója, a gepárd szinte a nyaka közé szedi a lábát, úgy rohan. Rövid távon a száguldó gépkocsival is felveszi a versenyt. Így még a gyors lábú gazellák sem menekülhetnek előle



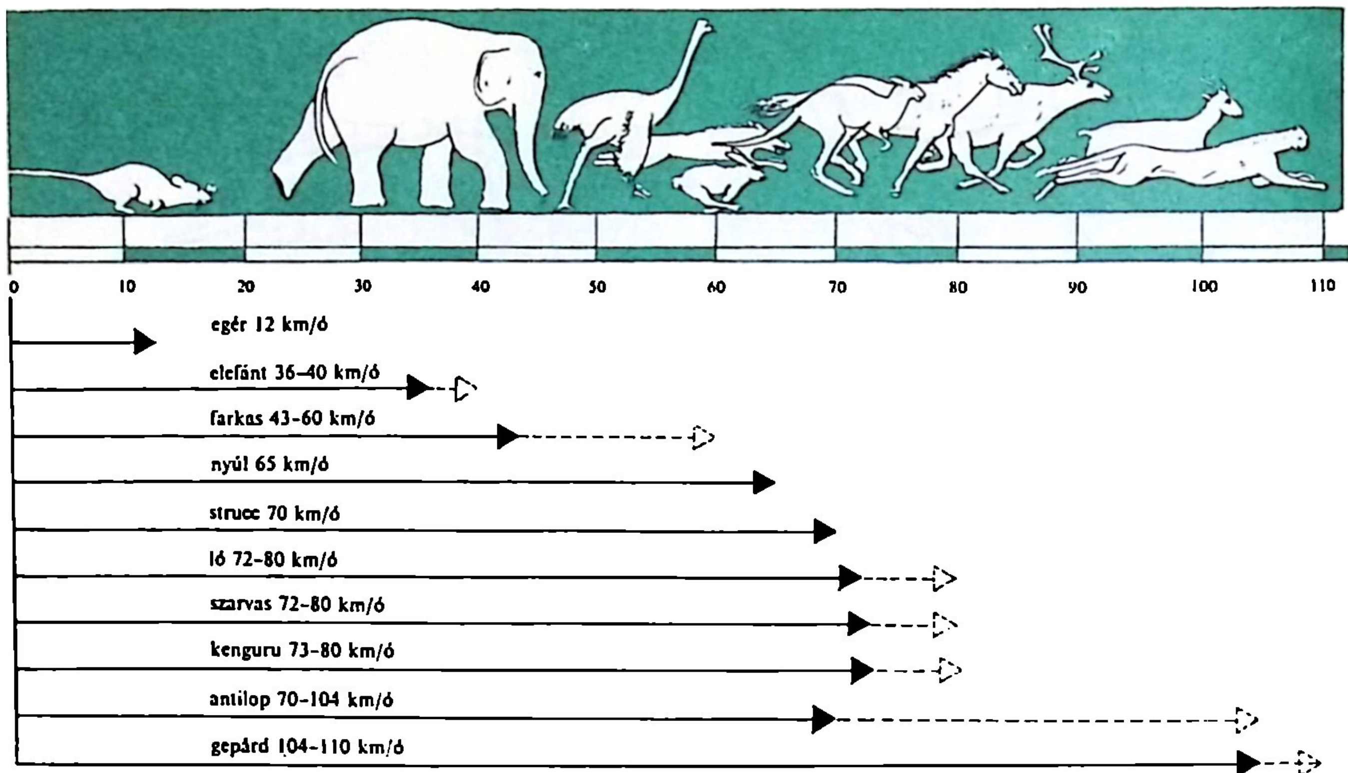
A csontváz „rugózása" növeli a vágta lendületét. A 110 km/óra sebességgel száguldó gepárd gerince a levegőbe lendülve meggörbül, majd nagy erejű rugóként hirtelen kiegyenesedik. Hozzá képest a ló gerince rohanás közben csaknem teljesen merev

nyelet, annál gyorsabban lengethetjük a padlón.

A „mozgólépcső-elv" is érdekes szerkezeti megoldásban valósul meg. Ha valaki a metróból a felszínre sietve szaladni kezd a mozgólépcsőn, gyorsabban felér, mint ha egy helyben áll. A lépcső és az ember sebessége ugyanis összeadódik. Ugyanez figyelhető meg a gyors futásra képes állatok végtagjain. Minden ízületi csatlakozásban a láb darabjai egy irányban mozognak, s az izmok egyszerre húzódnak össze. Így amilyen gyorsaságra egyetlen izom sem lenne önmagában képes, a lábcsontok izmainak sebességéből öszszeadódva alakul ki a lábvégen a legnagyobb sebesség.

A rohanó gepárd vagy a farkas hátgerincére is fontos feladat hárul futás közben. A földet érés pillanatában a gerincoszlop nagy ívben behajlik, mint egy megfeszített késpenge. Amikor az állat újra elrugaszkodik a földtől, gerince hirtelen kiegyenesedik, ami fokozza az ugrás lendületét, ahogyan a penge is messzire repül, ha elengedjük. Ezzel a módszerrel a gepárd óránként 10 kilométerrel növeli haladási sebességét.

Könnyű a hosszú lábú állatoknak – gondolhatjuk –, hiszen rövid lábbal nehezebb futni. De a gyors iramhoz nemcsak hosszú lábakra van szükség. A talpak is „beleszólnak" a futás sebességébe. A medve, az oposszum és más gerincesek a talpukra támaszkodnak, ezért is meglehetősen lassú a járásuk. Ha fel akarják gyorsítani mozgásukat, először a talpukat kell megemelniük. Fáradságos munka! A ló viszont eleve „lábujjhegyen" jár. Patája az erőteljes középső ujj végét borítja, és ez igen meredek szögben csatlakozik a kéz-, illetve a lábközépcsonttal az alkar-, illetve a lábszárcsonthoz. Ha földet ér a láb, akkor a kéz-, illetve lábközép rugalmasan lehajlik, miközben ínszalagja megfeszül. Amikor eléri legna-



Az állatok képzeletbeli olimpiáján legalább annyi futószámban kellene összemérni a versenyzők képességeit, amennyiben a sportolók is rajthoz állnak. Itt a rövidtávú futás helyezettjeinek sorrendje látható. (A strucc, a kenguru még rajtol, a szarvas a célba ért)

gyobb feszültségi állapotát, nagy erejű rugóként pattan vissza. Ezzel hozzájárul a láb gyors kiegyenesítéséhez, futáskor pedig újabb fokozattal növeli a haladási sebességet.

Hol van a futás sebességhatára? Ez elsősorban a lábak mozgatási sebességétől függ. Ha a futó állat földet ér, saját testének sebességénél gyorsabban kell lábát elfordítania, mert csak így taszíthatja magát előre. Ha lassabban mozgatná lábát, „befékezné" magát, mint a lejtőn haladó gépkocsi, amelynek motorját azért kapcsolja be a vezető, hogy a legkisebb sebességfokozattal csökkentse a gurulás lendületét. Az állatok futásának sebességhatárát tehát a végtagok mozgatási sebessége határozza meg, ami a test felépítésétől és az izomzat fejlettségétől függ. Annyi bizonyos, hogy az állatok olimpiáján a futószámok összetett versenyében a ló érné el a legelőkelőbb helyezést: nemcsak gyors, hanem kitartó futó is. Nem véletlen, hogy az emberiség legősibb háziállata, és legősibb közlekedési eszköze. Tanulhatnak tőle a mérnökök!

Élő katapultok

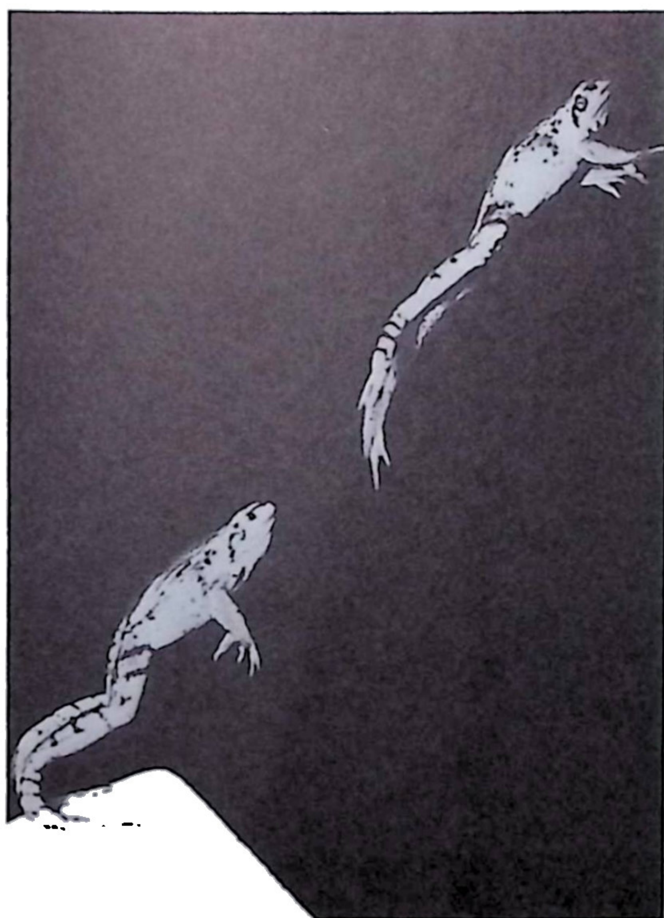
Amikor egy sugárhajtású gép pilótája bajba kerül, csak egy módon menekülhet: a hangsebességnél gyorsabban száguldó repülőben egy gombnyomással felrobbantja az ülésbe rejtett dinamitpatront, és kirepül a gépből – az üléssel együtt. Ezt a katapultberendezést ma már minden sugárhajtású gépben felszerelik, mert a pilóta nem tudná másképp elhagyni a sérült gépet a nagy sebesség és az orkánszerű légáramlás miatt.

A „katapultálás" módszere az állatvilágban sem ismeretlen, csakhogy veszély esetén az állatok saját magukat

„lövik ki". Általában minden négylábú állat tud ugrani, de ha jó ugrókat keresünk, elsősorban a kenguru, a béka, a szöcske és a bolha jöhet számításba. Távolugrási rekordjaikat arányosan összehasonlítva, a bolha vinné el a pálmát, mert saját testhosszának kétszázszorosát ugorja, a kenguru viszont alaposan lemaradna testhosszának ötszörösével. Persze a testnagyság döntően meghatározza a fizikailag lehetséges eredményeket, saját „súlycsoportjukban" tehát ezek az állatok egyformán jó ugrók. De ugyanarra a dobbantóvonalra felsorakozva kétségtelenül a kenguru jut a legmesszebbre 7,8 méteres ugrásával, a bolha viszont az utolsó helyen ér földet kb. 30–50 cm távolságban.

Hány fokos szögben kell az állatnak elrugaszkodnia, hogy a legmesszebb érjen földet? Erre a kérdésre a hajítások törvénye adja meg a választ a fizikában: az eszményi szög 45 fok. Ha az okos kertész a legtávolabbi virágágyakat is meg akarja locsolni, 45 fokos szögben tartja a locsolócsövet. Valószínűleg a békák is kitapasztalták ezt, mert 35–40 fokos szögben ugornak előre, sőt James Gray professzor olyan békát is talált, amelyik pontosan a 45 fokos szöget választotta.

Ha csak az ugrási magasságot vesszük szemügyre, a fizika itt is érdekes törvényszerűségre figyelmeztet. Az elérhető magasság nem függ a testsúlytól! Akár az ember, akár a bolha dobbant egy helyből, mindketten akkor repülnek például egy





A béka ugrásának négy pillanata. Elrugaszkodásakor lábának egyes szakaszai fokozatosan egyenesednek ki, a több lépcsős rakéta elvén gyorsítva fel testét. Körülbelül 35–45 fokos szögben löki el magát a talajtól. A fizikai törvények szerint így repül a legmesszebbre

méter magasra, ha másodpercenként 4,5 m-es kezdősebességgel szakadnak el a talajtól. Az ember számára ez nem is okoz nehézséget, de a bolha erre képtelen. Pedig testsúlyához viszonyítva nem gyengébb, mint az ember. De itt már közbeszólnak a testméretek!

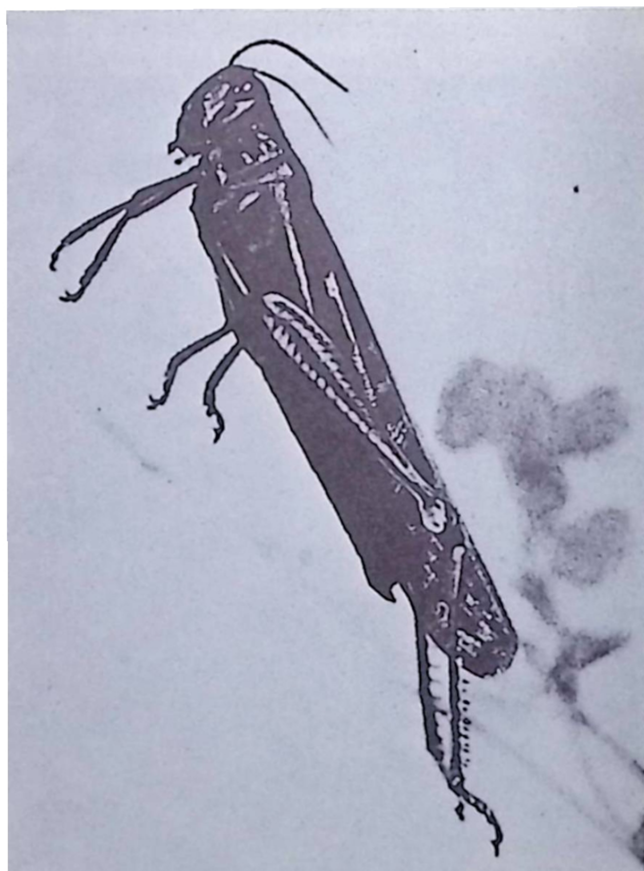
A test tömegét fel kell gyorsítani a kezdősebességre. Minél hosszabb út áll ehhez rendelkezésre, annál kisebb gyorsulásra van szükség. Ha az ember leguggolva készül az ugráshoz, félméteres úton gyorsíthatja testét addig a pillanatig, amíg elhagyja a földet. Minthogy izmai 0,225 mp alatt egyenesítik ki lábait, a lehulló kőnél csupán kétszer gyorsabban mozogva éri el kezdősebességét. (A leejtett tárgyak 1 g gyorsulással esnek a föld felé. Így az elrugaszkodás pillanatáig az ember 2 g-vel mozog.)

De mit csináljon a bolha? Még ha teljesen kinyújtja lábait, akkor is csak egy milliméterrel kerül magasabbra. Ezen az útszakaszon kell tehát felgyorsítania testét az ugráshoz. Minél nagyobb kezdősebességet akar elérni, annál rövidebb idő alatt kell elrúgnia magát a talajtól, mert így annál nagyobb gyorsulással mozoghat. „Katapultja" a mérések szerint 0,001 másodpercig működik, s teste ezalatt 200 g gyorsulással mozog, akár egy pisztolygolyó. Az emberbolha ezzel a módszerrel kb. 20 cm-es magasságot érhet el, ami 1,5 milliméteres testhosszához képest nagyszerű rekord.

Mindebből sejthető, hogy a jól ugró állatoknak miért olyan hosszú a lábuk. Az ugrás kezdősebességének eléréséhez az ismert „mozgólépcsőtrükkel" gyorsítják testüket. Ugrás előtt a béka összehajtogatja lábait, izmai megnyúlnak. Amikor elérkezik a pillanat, a legerősebb combizmok állnak először munkába, ezután az alsó lábszár izmai folytatják a gyorsítást, végül a sarok és az ujjak feszítőizmai tolják tovább a levegőbe lendülő állatot.

Érdekes azt is megfigyelni, miként javítja ugrásának hatásfokát a béka. Mellső lábait testéhez szorítva csökkenti légellenállását, szemeit pedig, mint valami modern gépkocsireflektort, behúzza fejébe. De a legfurcsább, hogy miután megcélozta áldozatát, lehunyja szemét, ugrása mégis mindig célba talál. Sőt a kutatók azt is megfigyelték, hogy ugrás közben – ha kissé rossz az irányzék – még repülési irányát is módosítani tudja, mint egy célkövető ellenrakéta.

A massachusettsi technológiai intézet munkatársai oldották meg a csukott szemű béka rejtélyét. Vizsgálataik szerint

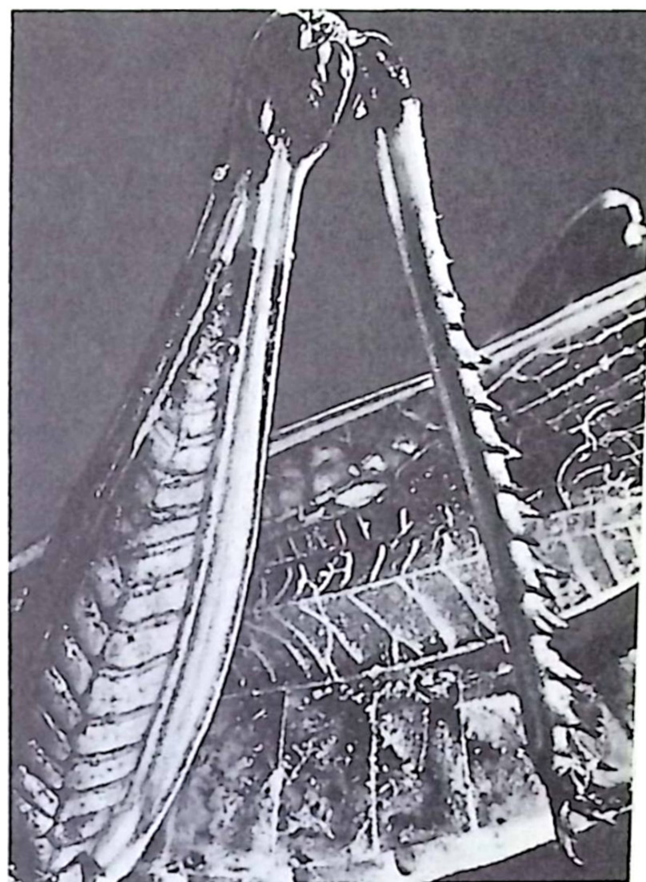


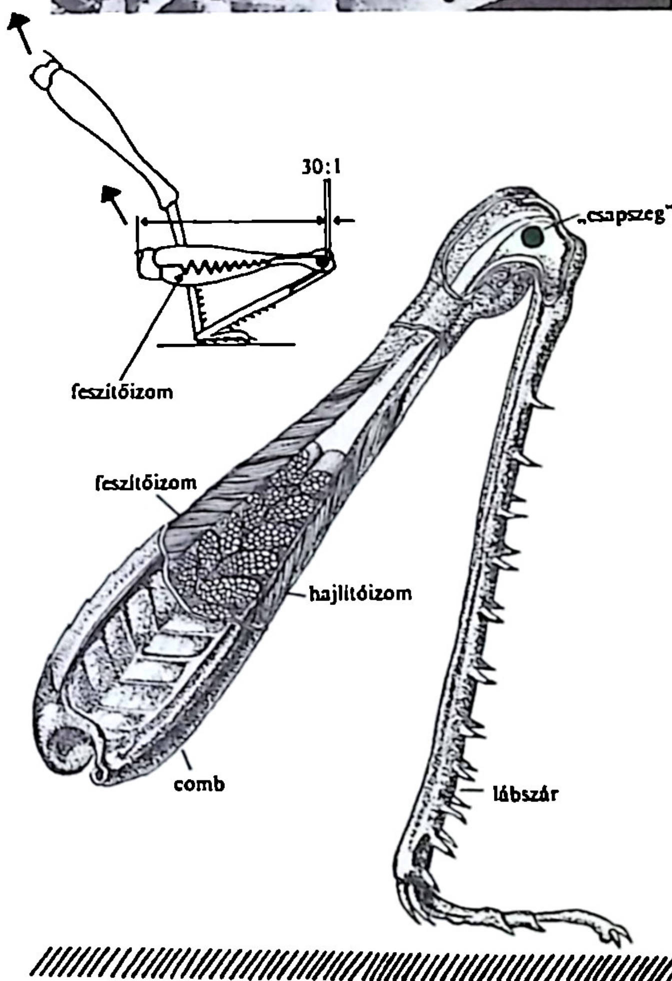
Ezt az akrobatamutatványt nap mint nap megismétli a sáska. Minthogy súlypontja éppen combjának tövével egy vonalban helyezkedik el, a felugrás után nem pördül meg a levegőben, hanem megőrzi ferde tartását. Így a lábain rugózva ér földet

az állat ugyan lehunyja szemét, de alsó szemhéja fényáteresztő, így továbbra is lát, csak homályosabban. Ugrásának pontosságát úgy érzékeli, hogy szemideghártyájának mindig azonos pontjára esik az áldozat képe. Ha repülés közben a kép elmozdul, ez azt jelzi számára, hogy teste eltért a helyes iránytól. Ilyenkor repülés közben reflexszerűen felhúzza valamelyik lábát, ezzel megváltoztatja súlypontjának helyzetét, s most már pontosan ér a célba.

Biomechanikai szempontból a sáska és a szöcske teljesen hasonló ugrása is figyelemre méltó. Behajlított lábainak „katapultjával" egy sáska kb. 45 cm magasra ugrik. Ahhoz, hogy elérje ezt a magasságot, másodpercenként három méteres kezdősebességgel kell elszakadnia a földtől. Minthogy rendszerint 60 fokos szögben rugaszkodik el, a fizikai képletek szerint ehhez mindegyik lábának egyenként 15 gramm tolóerőt kell szolgáltatnia. Szép teljesítmény, hiszen így saját testsúlyánál nyolcszor nagyobb erőt fejt ki! G. Hoyle amerikai kutató kísérletileg is igazolta ezt az értéket. Plasztilinba ágyazott egy sáskát, és lábára 20 grammos súlyt erősített. A láb ezt is felemelte, a valóság tehát igazolta az elméletet.

Ez az érték még meglepőbbé válik, ha alaposabban megvizsgáljuk a sáska lábát. 30–40 mm hosszú combja, a láb harmadik íze voltaképpen olyan kétkarú emelő, amelynek másik vége mindössze 0,75–1 mm-re van a forgásponttól. Mintha valaki





A sáska hátsó lába élő katapultként dobja az állatot a levegőbe. Combja olyan parányi kétkarú emelő, amelynek forgáspontját a „csapszeg" alkotja, amikor a feszítőizom „rugója" hirtelen összehúzódik. Rendszerint a repülés megkezdésekor is ezzel a „kilövési" módszerrel emelkedik a levegőbe

újfajta gyerekhintát készítene, amelynek egyik fele 3 méter hosszú, a másik viszont csak 7,5–10 cm lenne. A hosszabbik deszka végére ültetett tízkilós gyerek akkor hintázhatna a papájával, ha az legalább 300 kg súlyú lenne. A sáska lábán tehát úgy keletkezik 20 gramm emelőerő, hogy összehúzódó izomzata csaknem 800 gramm húzóerőt fejt ki. Minthogy a rovar 2 grammos súlyának 1/25 része a lábizmok súlya, így izmainak minden grammja elvileg 20 000 gramm, vagyis 20 kg húzóerőt lenne képes kifejteni. A biológusok szerint az egész állatvilágban csak a kagylóknak van ilyen erős izomzatuk.

De a sáska nemcsak ugrik, hanem sétál is, akárcsak a szöcske. Ez pedig lassú összehúzódást követel izmaitól. Hogyan képes a rovar ezt a két szélsőséges feladatot ugyanazzal a lábbal megoldani? G. Hoyle mikroszkópos vizsgálatai érdekes mechanizmusra derítettek fényt. A láb izomkötegeiben „gyors" és „lassú" idegszálak vannak. Amikor a szöcske jár, csupán „lassú" idegszálai adnak parancsot az izomkötegek összehúzódására. Ha azonban ugrani készül, hirtelen megáll. Villamos idegjel fut valamennyi izomszálhoz: figyelem, készenléti állapot! S amikor az ugrás következik, a „gyors" idegek parancsára egyszerre húzódik össze valamennyi izomszál, így hihetetlenül rövid idő alatt gyorsul fel a test.

Az ugrópókok a biztonsági kötelet is feltalálták. Úgy lendülnek a levegőbe, mint a hegymászók, akik a derekukra erősített kötéllel ugranak át a szakadék felett. Ugrás közben fonalat enged maga után a pók. Ha veszélyt érez, hirtelen leállítja a fonaleresztést, és megkapaszkodik a szálban, így repülés közben is képes „lefékezni" magát. A biztonsági „kötél" nem engedi továbbszállni, hamarabb földet ér, még a veszélyes pont előtt, és van ideje menekülni. Ennek hasznát veszi akkor is, ha rosszul becsülte meg a távolságot. Ilyenkor nem repül túl a célon, mert előbb lefékez, és még idejében lecsap áldozatára.

A pattanóbogár meghúzza a ravaszt

Bármennyire kellemetlen élősködő is a parányi bolha, mérnökszemmel nézve valóságos technikai remekmű. Olyan katapulttal rendelkezik, amely óriási erővel gyorsítja fel testét az ugrás kezdősebességére. Az üregi nyúl bolhája általában 5 cm magasra ugrik, az emberbolha viszont 20–30 cm magasságba lendül, testhosszának 200-szorosát is elérheti. Távolugrásban kb. fél méter a rekordja.

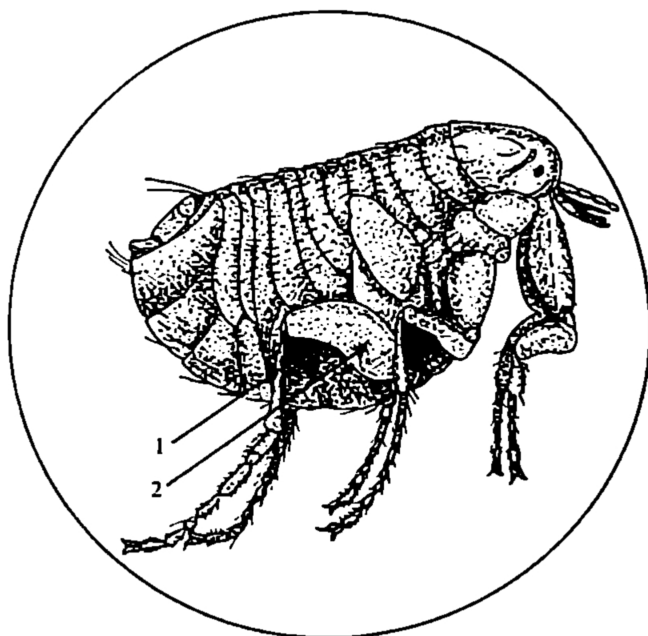
Ebben a 0,5 gramm súlyú testben hihetetlen energiák szabadulnak fel az ugrás pillanatában. Valóban szempillantásnyi ez az idő, hiszen a két hátsó láb mindössze egy ezredmásodperc alatt egyenesedik ki. H. C. Bennet-Clark angol kutató főként arra volt kíváncsi, milyen mechanizmus hajítja magasba a bolhát. A lábszerkezet elemzéséhez hallatlan türelemmel látott hozzá, de segítségére volt egy tanulmány is, amelyben két amerikai kutató már 1920 táján pontosan leírta e pirinyó állat anatómiáját. Ami az emberben a „felső lábszár", az a rovaroknál a combíz, latin tudományos nevén femur. A vizsgálatokból kitűnt, hogy ugrás előtt a bolha összehajtja lábát, így a combja függőleges helyzetbe kerül, mintha valaki a földön ülve felhúzná a lábait. Az ugrás pillanatában a femur hirtelen vízszintes helyzetbe csapódik, miközben a lábfej ízei a talajra támaszkodva kiegyenesednek.

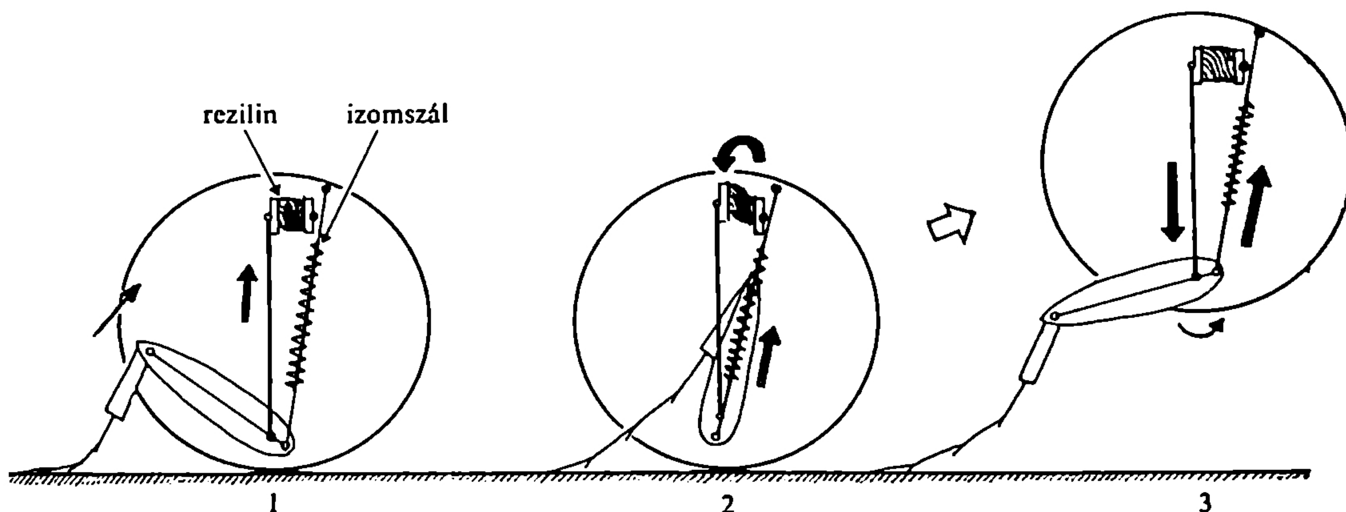
Amikor az állat ugráshoz készülődik, halk kattanás hallatszik. Ilyenkor a comb negyedfordulattal elcsavarodik, izom-

kötege megfeszül. Abban a pillanatban, amikor a femur kétkarú emelője függőleges helyzetbe kerül, lenyúló apró vége annyira meghúzza a feszítőizmot, hogy ez elszakadna, ha nem állna készenlétben egy furcsa izomcsomó. Ez a rövid, hengeres izomköteg a rezilin, amely az óriási feszítőerő hatására kissé eltorzul, így hihetetlenül nagy energia halmozódik fel benne. A számítások és kísérletek szerint ennek az izomkötegnek egy gombostűfejnyi darabja annyi energiát tárol, amellyel 15 gramm súlyt lehetne 1 cm magasba emelni. Ugráskor ez a hirtelen felszabaduló energia 200 g gyorsulással mozgatja a bolha testét az elrugaszkodás pillanatáig. Közben a láb tüskés vége a talajra támaszkodik. Ha üveglapra helyezik a bolhát, nem képes felugrani, az élő katapult felmondja a szolgálatot.

A modellkísérletek világosan igazolták, hogy a bolha ugrószerkezete valóban ezen az elven működik. Kétségtelen, hogy az apró állat rengeteg energiát használ fel minden egyes ugrásakor, ezért számára nem gazdaságos ez a közlekedési forma. De menekülésk or vagy gyors „lakáscsere" esetén (ha új gazdát keres) feltétlenül hasznát veszi.

A legtöbb bogár azonban akkor kerül igazán bajba, ha egy fűszálról lepottyanva a hátára esik. Ilyenkor rémülten kapálódznak, valamilyen támpontot keresve. Csak a pattanóbogarak népes családjának tagjai nem jönnek zavarba! Olyan katapultjuk van, amely éppen ebből a kínos helyzetből menti meg őket. A kuta-





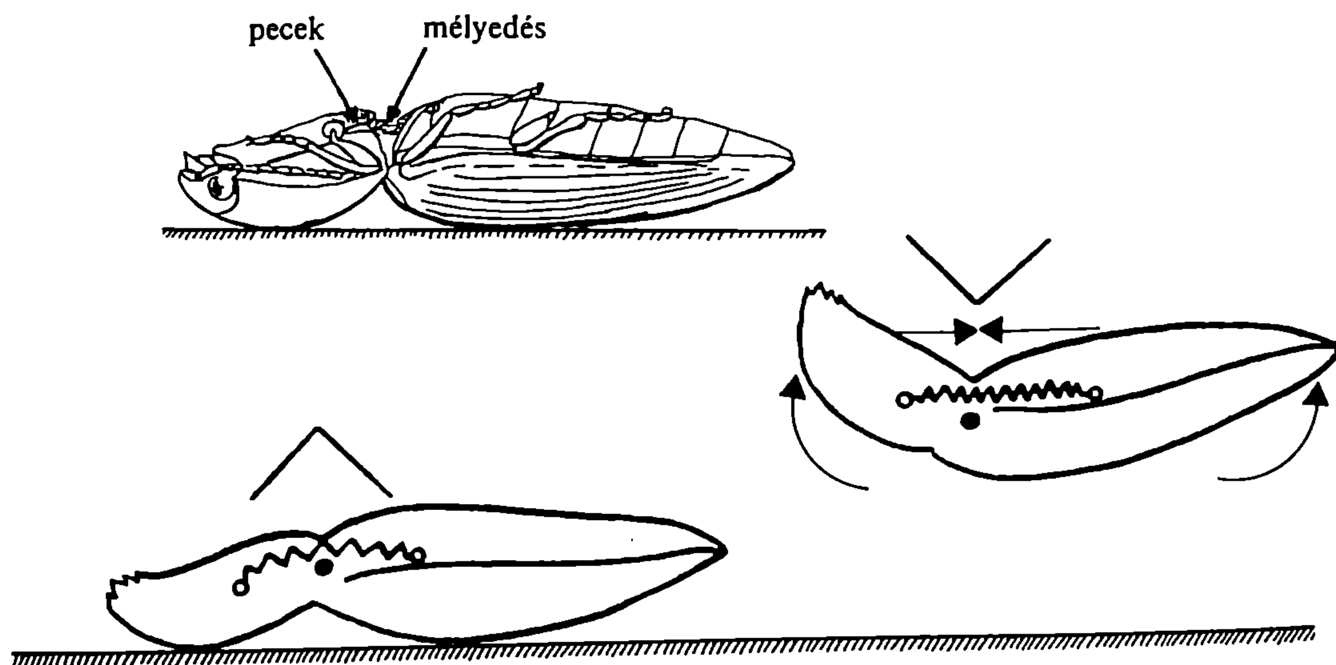
Amikor ugrás előtt felhajtja lábát a bolha (1), apró kattanás hallatszik. Mintha egy régi pisztoly kakasát húznák fel a lövéshez. Ilyenkor a parányi izomcsomó megfeszül, és nagy energia halmozódik fel benne (2). Az ugrás pillanatában a ferde izomszál összehúzódik, ezzel húzza meg a bolha a „ravaszt". Az izomcsomó „rugója" működésbe lép, és elforgatja a lábszerkezetet

tók a legutóbbi időkig nem sejtették, hogyan pattan fel a hátáról a bogár, és hogyan érkezik vissza a „talpára". Csupán 1972 végén derült fény a pattanóbogarak rejtélyes szerkezetére G. Evans angol kutató vizsgálatai nyomán. A lassított filmfelvételekből kitűnt, hogy egy 12 mm hosszú pattanóbogár 30 cm magasra ugrik, miközben legalább egyet bukfencezik a levegőben. De nem használja lábait az ugráshoz. Nem is tudja, hiszen hanyatt fekszik. A törzsfejlődés folyamán a pattanóbogarak különös akrobatamutatványt gyakoroltak be. Ugrás előtt fordított V alakban megfeszítik, majd az ugrás pillanatában zsebkés módjára hirtelen „becsattintják" testüket, és valódi V alakot vesznek fel.

Eközben a 12 mm hosszú bogár súlypontja 0,6–0,7 mm-rel kerül magasabbra. A 30 cm-es ugráshoz 2,4 m/mp-es kezdősebességgel kell elszakadnia a rovarnak a talajtól, tehát a milliméter töredéke áll csak rendelkezésére, hogy ezen az úton felgyorsítsa testét. A mérések szerint mindössze 0,64 ezredmásodperc alatt „csattintja" meghajlított törzsét az ellenkező V alakba, s így 380 g gyorsulást ér el!

Egy idegparancsra összehúzódó izom már képtelen lenne ilyen gyors mozgásra, ezért a készülődés idején homorítva feszíti meg a bogár a torából a potrohába vezető izomköteget. Amikor pattanásig nyúlik az izom, a tor végéből kiálló kemény pecek beleakad a potroh parányi mélyedésébe. Pontosan úgy, ahogy a vadászpuska felhúzott kakasát a ravasz rögzíti. Az ugrás pillanatában a rovar egy vékony izomszállal meghúzza a „ravaszt": a pecek kiakad, és a megfeszített izomköteg óriási erővel hajlítja testét hirtelen az ellenkező V alakba.

Meg kell adni, a pattanóbogár egyáltalán nem szédülős! Még a legedzettebb űrhajósok sem képesek elviselni 10–15 g-nél nagyobb gyorsulást. A bogár feje viszont az ugrás pillanatában – minthogy 3,5 mm-re van a tor és potroh forgás-



Nem esik kétségbe a pattanóbogár, ha véletlenül a hátára pottyan. Fordított V alakba hajlítja testét, ezzel megfeszül benne a „katapult-izom". A támasztópecek kioldásával az izom hirtelen összerántja fejtorát és potrohát. Tehetetlen testtömegének mozgási energiájával a bogár a levegőbe pattan, majd megperdülve talpra esik

pontjától 2000 g gyorsulással mozog. Úgy látszik, a törzsfejlődés évmilliói alatt már hozzáedződött ehhez a szédítően gyors mozgáshoz.

Ugráló dobozok

A kenguru óránként 80 km-es sebességű „vágtája" régóta nyugtalanítja a mérnökök képzeletét. Hogyan lehetne olyan járművet tervezni, amely utánozná a kenguru mozgását? A kerekek nyilván szóba sem jöhetnek, hiszen ilyen új jármű tervezésekor éppen az a cél, hogy járatlan utakon is könnyedén haladjon.

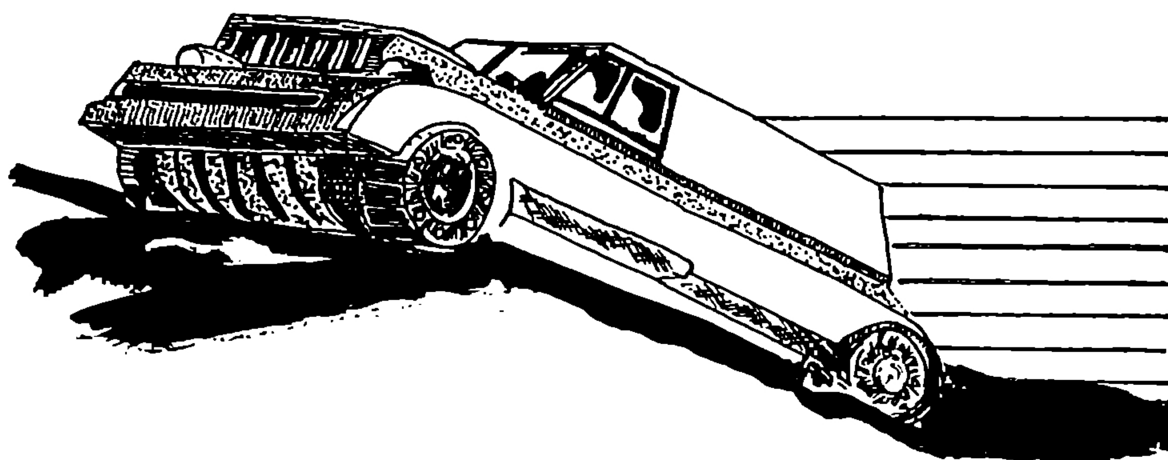
Szovjet mérnökök végül olyan terepjárót terveztek, amely lábak helyett rugalmas „gumipapucsokon" közlekedik. Minden papucsban ferde tengely körül két-két súlyzó forog egymással ellentétes irányban. Amikor minden egyes fordulat során a súlyzók a legmagasabb pontra kerülnek, tehetetlenségi erejük a járművet is magasba lendíti; ha viszont a legmélyebb ponton vannak, a jármű a földhöz szorul. Igaz, ez a mozgás nem a kenguru ugrásának utánzásából ered, de mechanikai szempontból ugyanolyan ugrásokat eredményez.

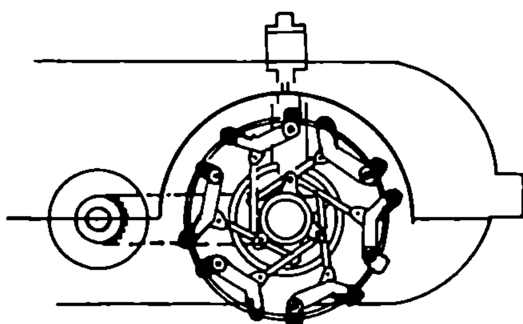
1959-ben a szibériai fémipari kutatóintézet udvarán már egy valódi modell is sétára indult. Egyetlen pillantással bárki meggyőződhetett róla, hogy a teljesen zárt ládán nyoma. sincs kerekeknek, mégis előrehalad – apró ugrásokkal. Az elv ugyanaz: a forgó súlyzók hol megemelik, hol pedig a földhöz szorítják a dobozt. Csakhogy ebben a dobozban vízszintes tengely körül forognak a súlyok. A szerkezetet úgy tervezték, hogy amikor a doboz kb. 10 mm magasra ugrik, egyúttal kb. 50 mm-t csúszik előre a súlyzókhoz képest. Ily módon a sétáló doboz másodpercenként 1,2 méter utat tehet meg. Technikai szempontból nagy előnye a furcsa mechanizmusnak, hogy a doboz teljesen zárt. Semmilyen kapaszkodó nincs rajta! Mintha Münchhausen báróra hasonlítana, aki a saját hajánál fogva húzta ki magát lovastul a mocsárból. De ami a mesében lehetséges, a valóságban lehetetlen. Csakhogy itt tényleg olyan erők ébrednek, amelyekből haladó mozgás születik.

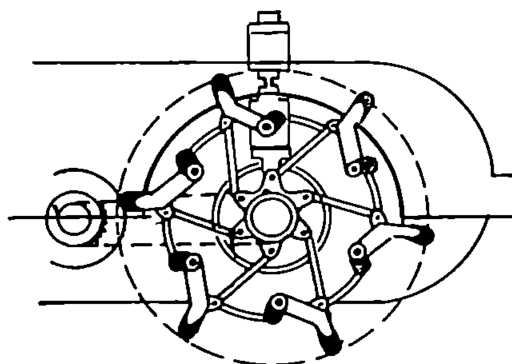
K. Karpuhin és Sz. Kupcov szovjet feltalálók viszont „bólogató" motort szereltek kísérleti modelljükre. A motoron forgó súlyzók legmagasabb és legmélyebb helyzetük váltakozásakor előre-hátra billentik a nagy tömegű motort, s ez minden egyes hátradőléssel kissé előrecsúsztatja a „karosszériát".

Ezek a kísérleti járművek a technika világából igyekeznek megközelíteni az ugrás mechanikáját, ezért nincs sok remény továbbfejlesztésükre. Valódi ugró járművek csak akkor készülhetnek, ha az állatok mechanizmusát utánozzák tökéletesen a feltalálók. Az állatvilág egyéb mozgási rendszerei azonban már eddig is sok esetben nyújtottak segítséget. A sarkvidék hómezőin például csődöt mondanak a kerekes járművek, a pingvinek viszont ősidők óta kitapasztalták, hogyan lehet gyorsan közlekedni a síkos havon. Apró lábaikon totyogva nehézkesen járnak, de veszélyt sejtve különös módon menekülnek. Hirtelen a hóba vetik magukat, és hason csúszva, lábaikkal és szárnyaikkal „lapátolva" menekülnek 30 km-es óránkénti sebességgel.

Erre a mozgásra gondolt A. F. Nyikolajev szovjet mérnök, amikor olyan terepjárót szerkesztett, amely a pingvinek kúszását utánozza. A jármű kerekeiben gumival bevont „szárnyak" rejtőznek. Nyugalmi helyzetben a keréken csak 12 apró gumiborda fedezhető fel, a behúzott szárnyak végei. Amikor azonban a jármű







A szovjet Pingvin terepjáró a „frakkos" madarak kúszó haladását utánozza, ha csúszós talajra kerül. A tengelygyűrű elfordításával gumivégű kapaszkodó „szárnyak" nyúlnak ki kerekeiből. A jármű elsősorban a sarkvidéki közlekedésnél használható

mozgásba lendül, valósággal szárnyai nőnek: egy hidraulikus rendszer kitolja a kerekekből a kapaszkodókat. Minthogy az 1,3 tonna súlyú terepjáró alja sima műanyagból készült, „hason csúszva" közlekedhet, miközben a kerekeiből „kinőtt" szárnyak a fagyott talajba vagy a hóba kapaszkodnak. A Pingvin terepjáró még három mázsa teherrel is gyorsan halad: 50 km-es óránkénti sebességgel közlekedik az örök hó és jég birodalmában.

Hullámok a szárazföldön

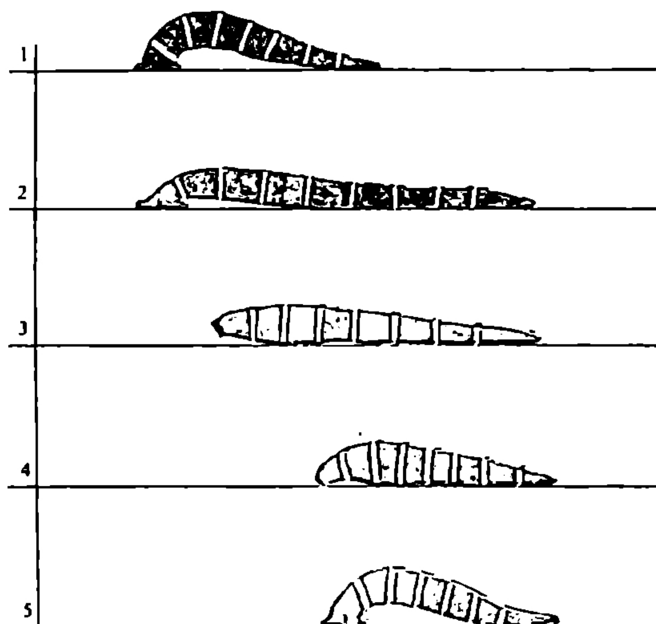
Lehet-e lábak nélkül sétálni? Természetesen! Hiszen az állatvilágban számos példa található erre. De a természetben csak egyetlen „hajtómotor" létezik: az összehúzódó izom, ezért az izmok ügyes elrendezéséből alakultak ki azok a különös élő szerkezetek, amelyek lábak nélkül is haladó mozgásra képesek. A gyűrűsférgek a legkezdetlegesebb mechanizmussal közlekednek. Testükben kétféle izomcsoport van: a hosszanti izmok, amelyek az egész testen végighúzódva megrövidíthetik a test hosszát, és a körkörös izmok, amelyek körülfogják az állat megnyúlt testét, így összehúzódásukkal az egyes szelvények keresztmetszetét csökkenthetik.

Ezt a kétféle izommozgást hangolja össze haladás közben a pióca, de testének elején a szívókorongra, végén pedig a tapadókorongra is szüksége van, ha tovább akar jutni. Tapadókorongjával először

megkapaszkodik, és összegömbölyödött testét a körkörös izmok megfeszítésével egyre kisebb keresztmetszetűre zsugorítja: mindjobban megnyúlik. Amikor elérte legnagyobb hosszát, szívókorongjával megkapaszkodik, és működésbe lépnek hosszanti izmai, amelyek a lehető legrövidebbre húzzák össze testét. Ebben a „gömbölyű" állapotban a pióca korongot vált, ismét hátulsó tapadójával kapaszkodik meg, és az egész mozgássorozat kezdődik elölről. Fáradságos munka, kis sebesség, de a pióca ennyivel is beéri.

A földigiliszta lényegesen hosszabb a piócánál, és tapadókorongjai sincsenek, mégis ugyanezzel a módszerrel halad. Csakhogy hosszanti izmai nem egyszerre, hanem szakaszonként rövidülnek meg, és körkörös izmai sem egy csapásra húzódnak össze, hanem testszelvényenként. A vastagodások és keskenyedések szakaszai így egymást követve haladnak végig a giliszta testén, miközben előrecsúszik. Ezek tehát voltaképpen testhullámok? Igen, csak hosszanti irányban, ahogyan egy megrázott tekercsrugón is „sűrűsödések" és „ritkulások" futnak végig. A csúszó giliszta testének mindig azok a pontjai támaszkodnak éppen a földre, amelyek összehúzódtak, tehát a legvastagabbak. Ezeken a szilárd támaszpontokon a giliszta 2–8 gramm erővel tolja hátra a földet, így önmaga mozdul el.

A pióca és a giliszta testében mindkét oldalon egyszerre húzódnak össze a hosszanti izmok. Más állatok két oldalán ez az összehúzódás ellentétes. Amikor az egyik oldalon az izomszálak megrövidülnek, a másik oldalon megnyúlnak. Így az állat jobbra-balra hajlik. Ha az egy oldalon levő izmok nem egyszerre, hanem egymás után húzódnak össze, az egész testen hullámok sora alakul ki. Az a bizonyos testhullám! Így jutunk el a kígyókhoz.

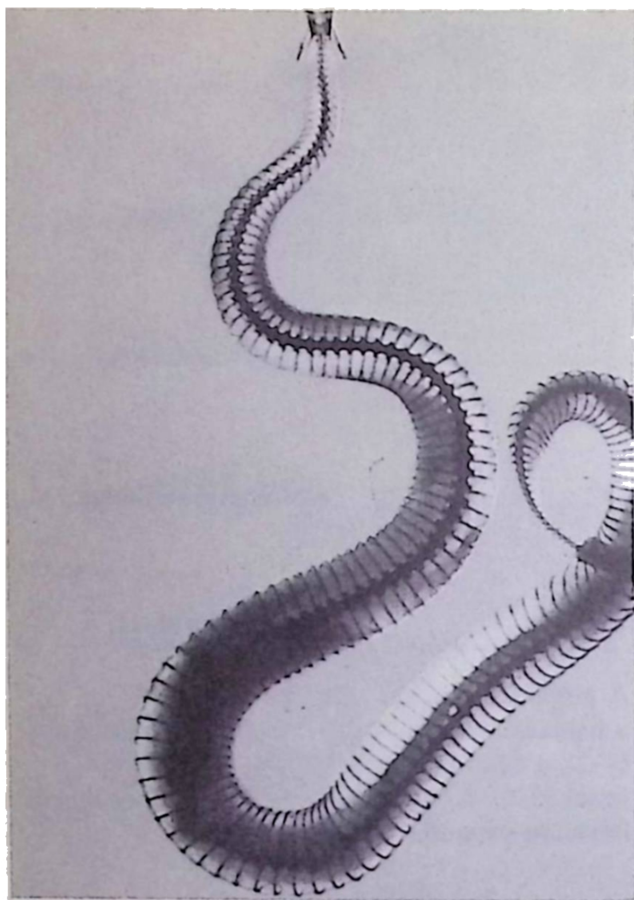


A piócának nincsen szüksége lábakra a haladáshoz. Először gyűrűs izmaival kinyújtja (1–2), azután hosszanti izmaival összehúzza testét (3–5). Közben szívó- és tapadókorongjával felváltva kapaszkodik a talajba

A hullám, amely végighalad a kígyó testén, pontosan ugyanakkora sebességgel mozog hátra, mint ahogy a kígyó halad előre. Már a halak úszásakor megismerkedtünk a testhullámmal, csakhogy a vízben például az angolna sohasem siklik olyan gyorsan előre, mint amilyen gyorsan végigfut rajta a testhullám. A szárazföldön azonban a szilárd talaj biztos támasztékot nyújt.

A kígyó hullámzó mozgásához legalább három támaszpontra van szükség, s ezek közül egynek mindig a test átellenes oldalán kell lennie. Ilyen módon a kígyók – a laboratóriumi mérések szerint – óránként 6,4 km utat tesznek meg, bár a természetben valószínűleg nagyobb sebességgel haladnak. De minek köszönhetik rendkívüli hajlékonyságukat?

Az emlősök gerincoszlopa 24 csigolyából áll, a kígyókban viszont 100–400 csigolya található. A biológusok már régóta csodálják ezt a rendkívül hajlékony szer-



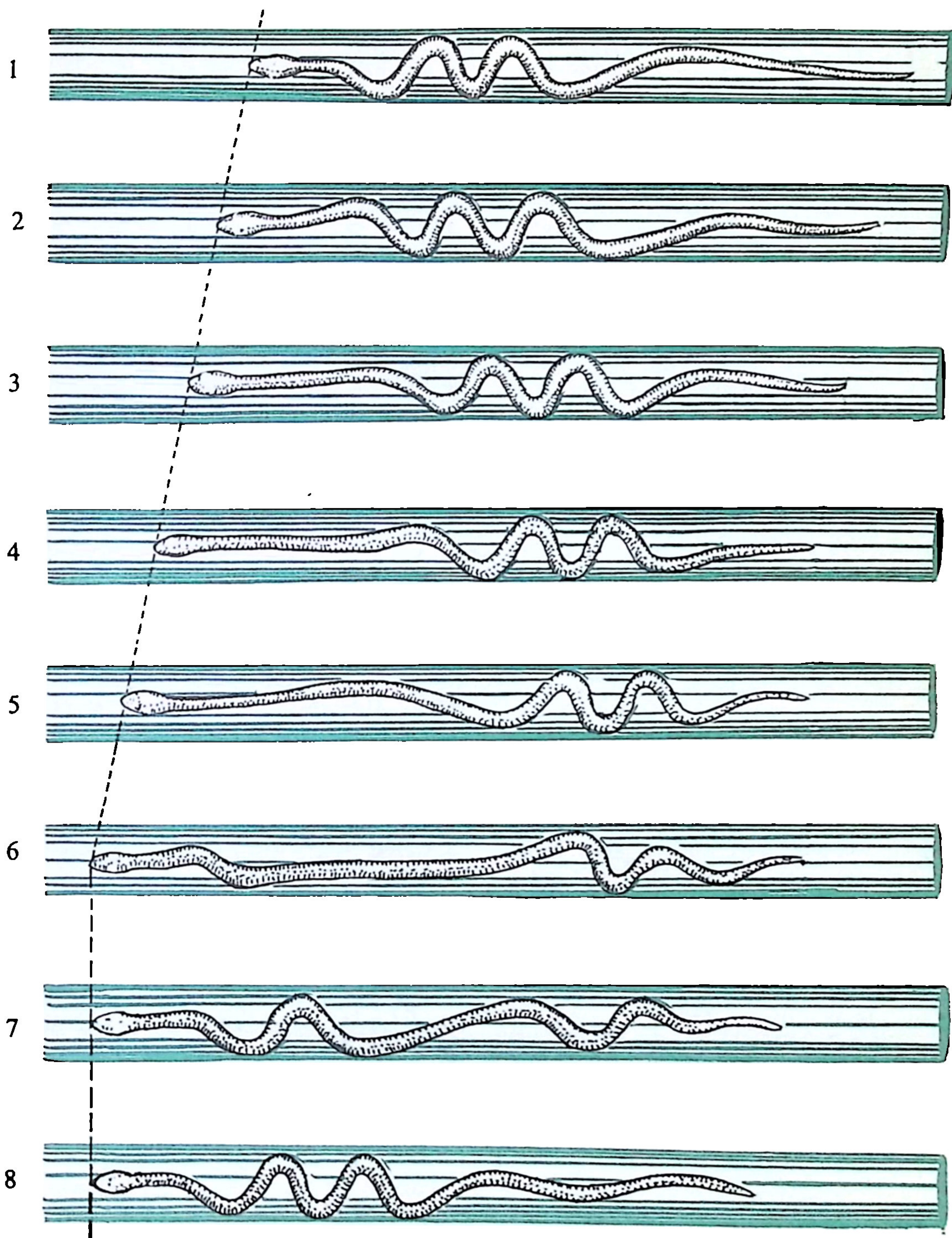
Hajlékony gerincoszlopának köszönheti a kígyó, hogy hullámmozgással haladhat a szárazföldön is. Egy-egy csigolyán nem nagy szögben fordul el, de a gerincoszlopon összeadódnak ezek a szögek. A röntgenfelvételen az elmosódott, fekete árnyék egy parányi rövidhullámú rádió, amely a kígyó testének belső állapotáról ad tájékoztatást a kutatóknak

kezetet. A mérések szerint két szomszédos csigolya egymáshoz képest 28 fokos szögben hajolhat fel vagy le, és 50 fokos szögben térhet ki jobbra vagy balra. Noha a különféle testszövetek nyilván csökkentik ezt a hajlékonyságot, a gerincoszlop kitűnően alkalmas a hullámmozgás megvalósítására, hiszen elvileg már nyolc csigolya is elég lenne ahhoz, hogy teljes gyűrűbe csavarodjon a kígyó.

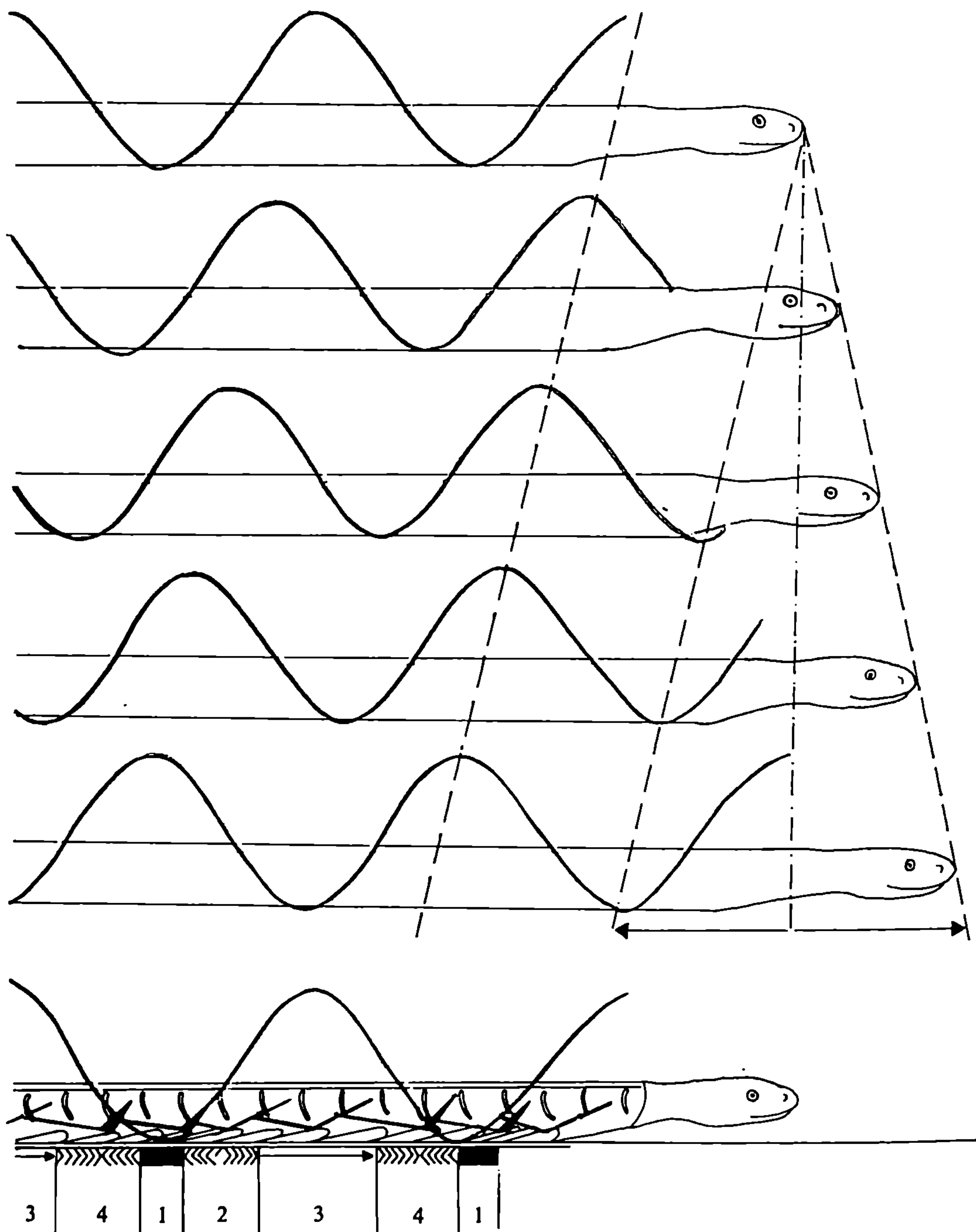
A testhelyzetet tehát minden pillanatban a csigolyák egymáshoz viszonyított elhajlása határozza meg, ez pedig mindkét oldalon az őket összekötő izmok feszülésétől függ. Külön izomkötegek teremtenek kapcsolatot a kígyó törzse és rendkívül rugalmas bőre között. A gerinchez képest tehát elmozdulhat a bőr, ami különösen jó szolgálatot tesz egyes kígyóféléknek, amelyek (mint például a boák és a viperák) nem hullám alakban mozognak, hanem nyílegyenesen siklanak előre.

Első pillantásra teljesen érthetetlen, miképpen haladhatnak így. És hová tűnt a testhullám? A részletes elemzésből kitűnik, hogy ilyenkor a kígyó bőrének ritmikus összehúzódása és kinyúlása – a bordákhoz kapcsolódó izmok játéka révén – szintén haladó mozgást eredményez. Ilyenkor bizonyos szakaszonként a pikkelyek összetorlódnak a testen, ezeken a pontokon támaszkodik a kígyó a földre, ezekhez képest csúszik előre. A bordákhoz kapcsolódó izmok a támpontok közelében mindig összehúzzák a bőrét, két-két támpont között viszont kinyújtják. Ha a kígyó kúszni akar, ezeket a támpontokat, vagyis a megrövidült testszakaszokat egyre hátrább tolja testén, így önmaga előrecsúszik. Ezeknek a szakaszoknak a szabályos váltakozása voltaképpen a sinushullám szabályos ritmusának felel meg.

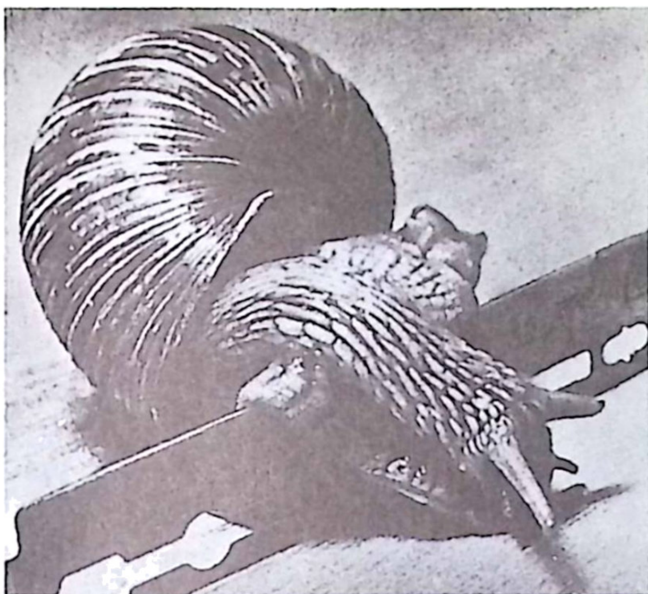
Ez a ritmus az állatvilág haladó mozgásának egyik legérdekesebb törvényszerűsége, amely a vízből a szárazföldre is elkísérte az állatokat a törzsfejlődés folyamán. Nem csoda, hogy a csigákon is megfigyelhető. Mozgás közben a csiga talpának (vagyis lábának) két szélén egymással párhuzamosan fut hátrafelé a két sinushullám. Ha az apró háztulajdonos nagyon siet, percenként 3 cm-es sebességgel is haladhat. Forduláskor a megfelelő oldalon csökkenti a hullámok sebességét, mint egy parányi lánctalpas traktor.



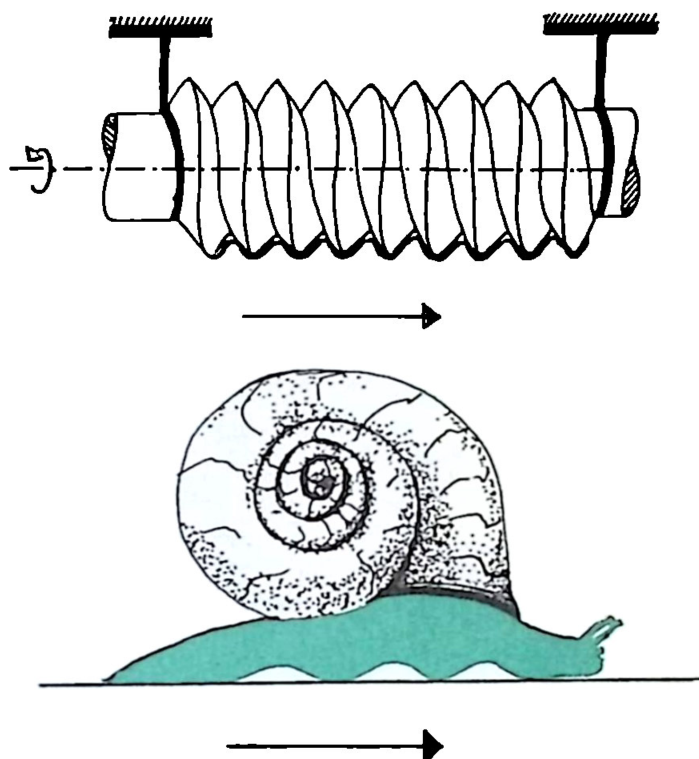
Szűk csatornában is könnyen kúszik előre a kígyó. Legalább két hullámhossznyi távolságon hajlítgatja testét. Ha a hullám lefut a farkáig, újat kezd a fejénél. Teste a hullámvonal csúcspontjaiban támaszkodik a csatorna falának



A viperák és a boák egyenes vonalban siklanak előre. Ez a meglepő haladási forma annak köszönhető, hogy a kígyó ilyenkor csigolyáihoz tapadó izmaival mozgatja rugalmas bőrét gerincoszlopához képest. A hátrafelé mozgó „gyűrődések" voltaképpen hosszanti testhullámok. Amekkora sebességgel fut hátra ez a hullám, ugyanakkora sebességgel kúszik előre a kígyó. 1: támaszpont, 2: nyúlik, 3: halad, 4: összehúzódik



Kiélezett helyzet a laboratóriumi asztalon. Átmászik-e a csiga a borotvapengén? Talpának hullámmozgásával fokozatosan emeli át testének egyes szakaszait, így zavartalanul folytatja útját



Ahogyan az egy helyben forgó csavar menete hátrafelé halad, ugyanúgy mozgatja talpát a csiga. De minthogy a talajra támaszkodik, nem a föld tolódik hátra a hullámok alatt, hanem ő maga megy előre kényelmesen

A csiga lábmechanizmusa rendkívül érdekesen működik, amint ezt 1970-ben H. D. Jones és E. R. Trueman angol kutatók felderítették. Mindkét oldalán függőleges izomkötegek sorakoznak, amelyeket testnedvvel telt apró üregek választanak el egymástól. Egyúttal a csiga „lábán" keresztirányban olyan izomkötegek is húzódnak, amelyek „mennyezetet" alkotnak a lassan áramló testnedv fölött. Amikor a haladó hullám ritmusában a soron következő függőleges izomköteg összehúzódik, nyomást gyakorol a folyadékkal telt testüregre. A testnedv sem felfelé, sem hátrafelé nem nyomódhat, csak előre. Így a folyadéktömeg k rányi ingaként lendíti előre az előtte függő, összehúzódott izomköteget. Amikor ez ismét megnyúlik, a láb széle már messzebb ér földet, mint ahonnan felemelkedett. Ezeknek az emelkedő és süllyedő szakaszoknak a ritmusából alakul ki a csiga lábán a haladó hullám. Ha legközelebb kerti csigát látunk, amint komótosan sétál a földön, ezt is érdemes rajta megfigyelnünk.



Évezredek óta nézte vágyakozva az ember a madarak és a rovarok röptét. De csak korunk technikájának sikerült ellesnie és lemásolnia néhány megoldást az állatvilág évmilliós tapasztalataiból. A vörösbegy éppen friss zsákmányával emelkedik a levegőbe

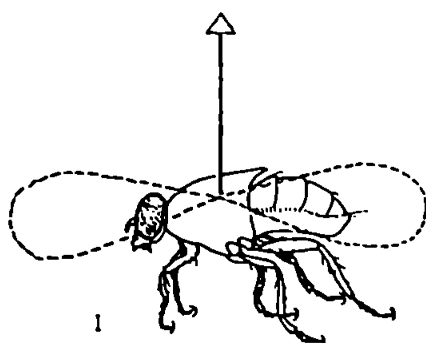
SZÁRNYAK A PILÓTA HÁTÁN

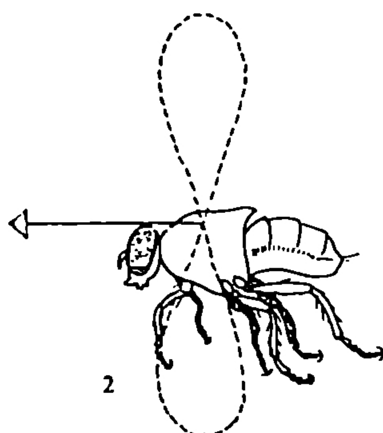
Jensen dán kutatónak minden önuralmát össze kellett szednie, nehogy a sarokba vágja azt a parányi sáskaszárnyat, amelylyel órák óta bíbelődött. Nehéz dologra vállalkozott, de most már kár lett volna abbahagyni. Elhatározta, hogy egy sáska repülésének lassított filmfelvétele alapján minden egyes mozdulatot újra beállít egy élettelen sáskaszárnyon, és megméri, mekkora felhajtóerő ébred ezen. A szélcsatornába helyezett szárnyat egymás után csavargatta finoman a megfelelő görbületű alakzatokba, majd bekapcsolta a légáramlatot, és gondosan leolvasta a műszereket. Az adatokból kirajzolódó grafikon végül érdekes titkot árult el. Bár a sáska első pár merev szárnya alkalmasabb volna az állandó emelőerő termelésére, mégis csapkodó hátsó szárnyán keletkezik repülés közben a felhajtóerő 70 százaléka.

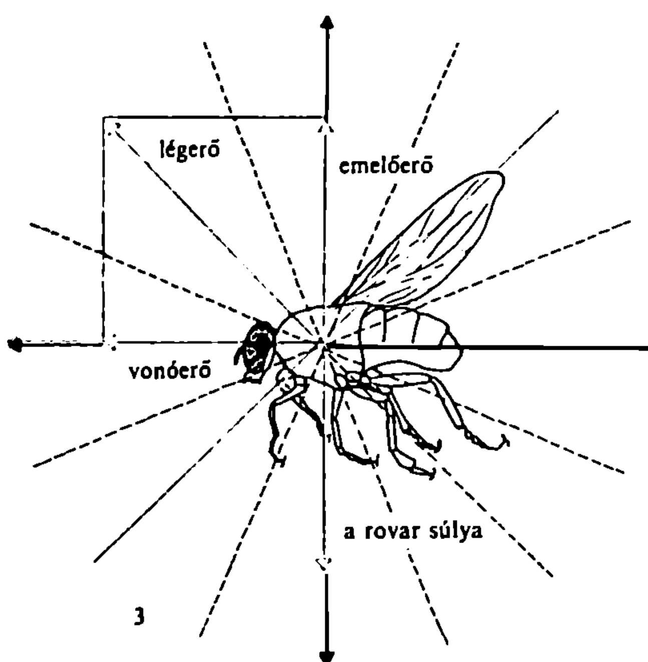
Ezek az aprólékos vizsgálatok megérik a fáradságot, mert a bionikusok számos „eleven" találmányra bukkanhatnak még, amelyek nemcsak a repülés terén hasznosíthatók, hanem új adatokat árulnak el az állatvilág aviatikusairól is. Ha egy szemtelen légy cikázik orrunk előtt, inkább bosszankodunk, mintsem azon tűnődünk, hogyan működik ez a tökéletes technikai kivitelű, parányi repülőgép. Pedig a különös légi járművek megérdemlik a figyelmet. Ahány tömzsi, szőrös, karcsú vagy kecses rovar létezik, valamennyi őrzi a repülésnek azt a titkát, amelyet az ember csak ebben a században fejtett meg sikerrel.

Persze a közel negyedmillió repülo rovarfaj közül nem mind repül egyformán jól. Általában az egyes fajok annál tökéletesebb módszereket sajátítottak el, minél nehezebb életkörülményekkel kellett megbirkózniok. Némelyek csak szánalmasan vergődnek, alig-alig tudnak repülni. Ilyen például a selyemhernyó lepkéje. A fejlődési sor végén viszont ott találjuk a kellemetlen, de csodálatosan repülő házilegyet, amely minden bravúrra képes, ami csak a levegőben megvalósítható. A repülőgép-tervező irigy szemmel figyelheti a rajzasztala fölött hancúrozó legyeket. Korunk anyagaival és szilárd szerkezeteivel még a legkorszerűbb repülőgépeken sem valósíthatók meg ezek a repülési tulajdonságok.

Első pillantásra ezek a hártyás szárnyú, zümmögő repülőgépek helikopterre hasonlítanak. Azt is mondhatnánk, minden rovar óriás légcsavar, amelynek tengelye és motorja a rovar teste. Csakhogy döntő különbség van közöttük: a helikopter csavarszárnya körbeforog, a rovarok szárnyai viszont nem forgathatók körbe, csupán rendkívül gyorsan rezegtethetők. Amikor a szárny le-fel csap, a lágy hártya vége kissé elhajlik, s ezzel önműködően kialakul a repülés nélkülözhetetlen eleme, a lejtős felület. Az ide-oda rezgő mozdulatok hatására a szárny mindig a csapás irányával ellenkező oldalra hajlik. Vízszintes szárnyrezegtetéskor ennek az a következménye, hogy tiszta emelőerő keletkezik. Ha ugyanez a rezgés függőleges síkban megy







Ha vízszintesen rezeg a rovar szárnya, a parányi légcsavar csak emelőerőt termel (1). Ha a szárnyak rezgése függőleges, akkor vonóerő keletkezik (2). Vízszintes repüléskor ferde síkban csapkod a rovar, s így a szárnyán ébredő ferde légerő eloszlik a vízszintes vonóerőre és a függőleges emelőerőre, miközben ez az utóbbi erő éppen kiegyenlíti a rovar súlyát (3)

végbe, a lejtős szárnyak a repülőgépcsavarhoz hasonlóan vonóerőt termelnek. A rovarnak természetesen egyszerre kell a levegőben maradnia és haladnia, így szárnyának rezgési síkját a függőleges és a vízszintes között ferdén beállítva teremt egyensúlyt a két követelmény között.

A szárnycsapások irányváltásakor érdekes aerodinamikai jelenséggel találkozunk. Amikor a rovarszárny lefelé csap, a levegő sebesen áramlik utána. Az alsó holtponton ez a léglökés nemcsak a szárnylejtő átbillenését segíti elő, hanem a hirtelen felfelé lendített szárnyon tovább növeli a vonóerőt. A levegő így „nem marad le" a mozgó szárnytól (amint ez gyakori jelenség a helikoptercsavarokon), tehát a legnagyobb rezgési sebességgel együtt lép fel a legnagyobb vonóerő.

Mit visz a légy a hóna alatt?

A rovarszárnyak különféle változatai a régi „kétfedeles repülők" alaktípusából fejlődtek ki. Csakhogy a két szárny nem egymás alatt, hanem egymás mögött helyezkedik el a rovar középső részén, a toron. A méhek, darazsak, fürkészek, fémdarazsak, egyszóval a hártyás szárnyú rovarok általában összekapcsolva használják két pár szárnyukat, így ezek aerodinamikai szempontból egyetlen párként működnek. De az önálló szárnypárok is hasznosak lehetnek, amint ezt a sáska is bizonyítja. A legszélsőségesebb példa pedig a szitakötő, amelynek két pár szárnya egymástól eltérő feladatokat lát el.

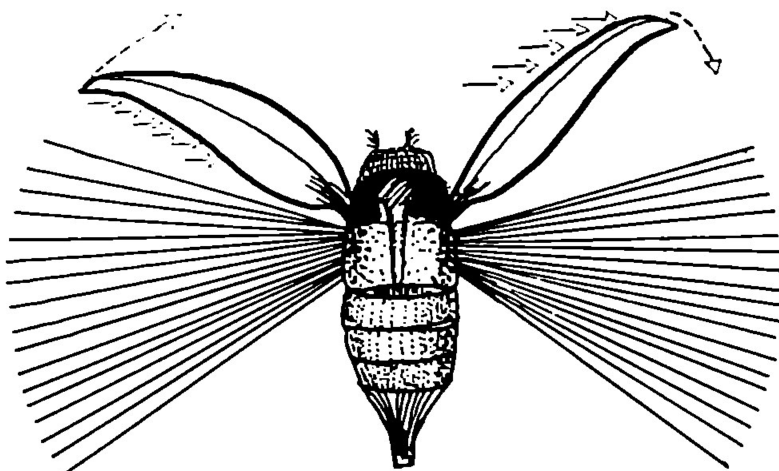
A bogarakon az elülső pár szárny kemény szárnyfedővé alakult, s ez a vastag kitinfedő nyugalmi állapotban kitűnően védi a hajszálvékony, könnyen szakadó hátulsó szárnyakat. Repülés közben a

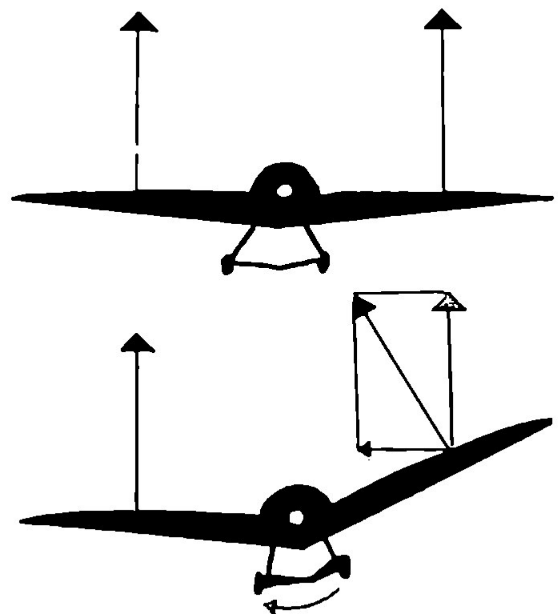
legtöbb bogárnak útjában van a kitárt szárnyfedő, de egyesek ügyesen felhasználják repülésbiztonságuk fokozására. Enyhe V alakban szétfeszítve, a „rovarrepülőgép" oldalbillenéseit csillapítja, hasonlóan a fémszerkezetű óriások úgynevezett harántstabilizálásához. Ha egy széllökés felbillenti a rovart, a felemelkedő szárnyvégen olyan ellenerő keletkezik, amely ismét az eredeti helyzetbe kényszeríti szárnyait. Végül az utolsó csoportba a legyek és más apró rovarok tartoznak, amelyek hátulsó szárnypárja parányi „bunkóvá" zsugorodott. A légy szárnytövében például csak figyelmesebb vizsgálat után fedezhető fel ez a billér, és sokáig nem is tulajdonítottak neki különösebb jelentőséget.

A hajszálfinom hártyás szárny tökéletesen megfelel a „rezgőcsavaros" repülésnek. Belépőélén egy merev kitinszál úgy tartja kifeszítve a szárnyat, ahogy valaki két karjával felemel egy palástot. Mögötte az áttetsző hártya már olyan hajlékony, hogy az oda-vissza szárnycsapások ha-

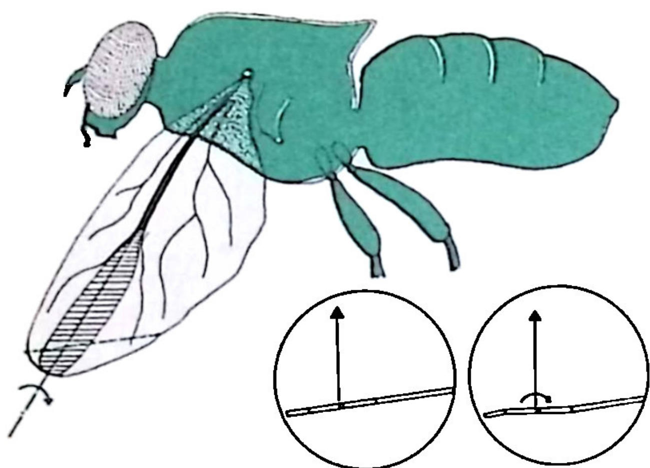


A kemény kitinfedő nemcsak a finom hártyás szárnyakat oltalmazza, hanem a cserebogár testét is egyensúlyban tartja repülés közben. A csapkodó hártyás szárny mozgási sebességére jellemző, hogy a felvételkor mindössze egy ezredmásodpercre villant fel a fény, mégis elmosódott a képen



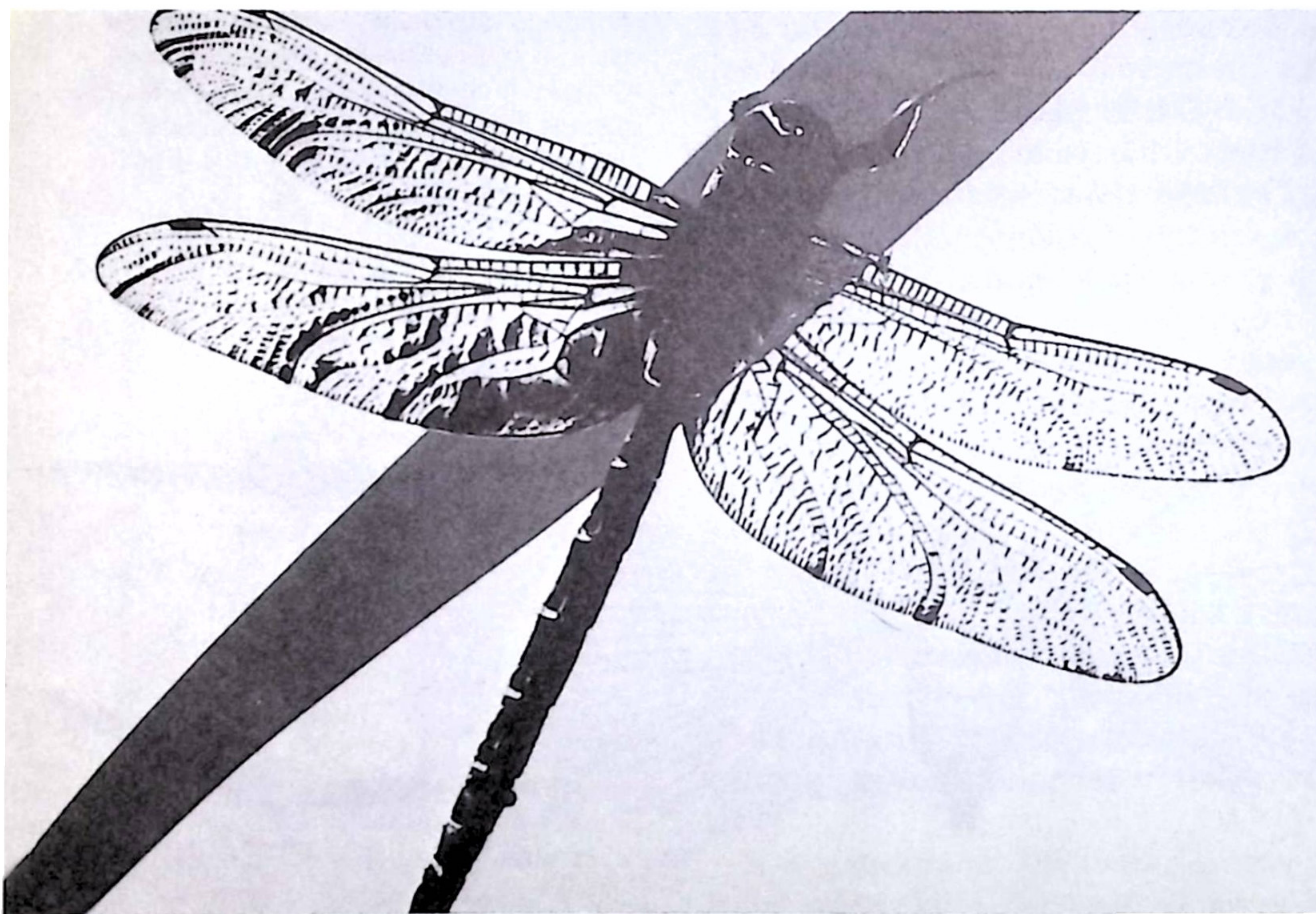


A cserebogár biztonságos repülését a kemény kitinszárnyak is elősegítik. Ugyanaz a jelenség figyelhető meg, mint a repülőgépeken: amikor egy zavaró légáramlat felbillenti a gépet, a ferde szárnyon kisebb emelőerő keletkezik. A túloldali nagyobb erő ezért a tengely körül visszabillenti a repülőt az eredeti vízszintes helyzetbe



A házi légy még „menet közben" is képes növelni szárnyának emelőerejét. Beépített csűrőlapot forgat el, szárnyának keresztmetszete alig észrevehetően Z alakot vesz fel. A szárnycsapások közben így nagyobb emelőerő keletkezik

tására könnyedén lendül át az ellenkező irányba. Nyoma sincs tehát rajta a repülőgépszárnyak jellegzetes keresztmetszetének – a hajlított csepp alaknak –, amelyen siklórepüléskor szinte önmagától keletkezik a felhajtóerő. A rovarnak minden egyes szárnycsapással meg kell dolgoznia az emelőerőért! Egy kis könnyítés azért akad. A házi légy például „feltalálta" a beépített csűrőlapot. Ezt a szárny közepén húzódó, úgynevezett ovális ablakot két párhuzamos, merev kitinléccel elcsavarhatja, s így a szárnykeresztmetszet finom Z alakot vesz fel. A kétszeres hajlat nyomáskülönbséget idéz elő a szárny körül elsikló levegőben. Így akármelyik irányba csap a szárny, min-



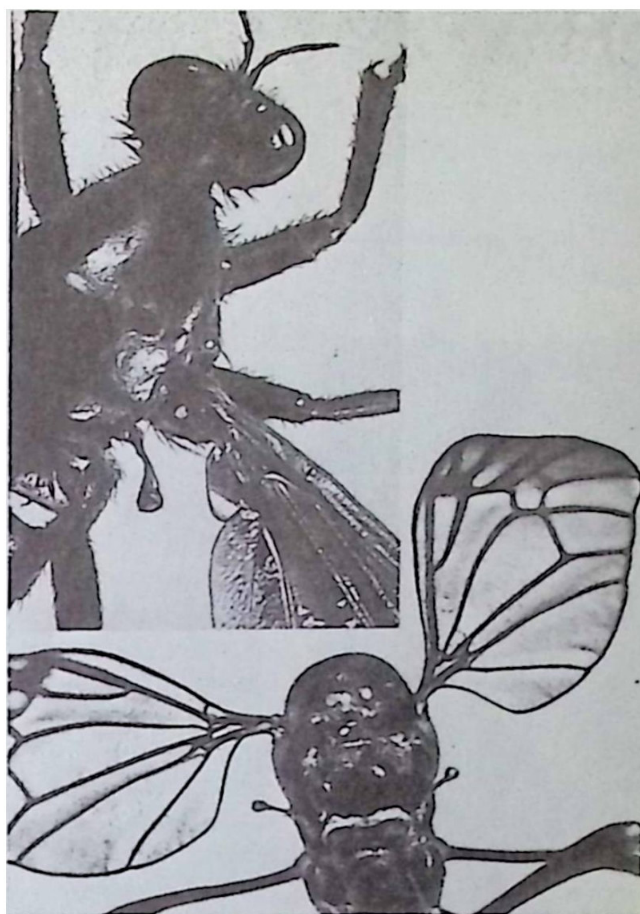
A szitakötő azt az aerodinamikai megoldást alkalmazza, amelyre a repülőgép-tervezők csak hosszas fejtörés után jöttek rá. A leheletfinom szárnyak csúcsához közel egy-egy fekete kitinszemcse helyezkedik el. Ha nem lennének ott, a szárnyélek zavaróan vibrálnának repülés közben

denképpen fokozódik rajta a légerő, amelynek függőleges összetevőjeként hat az emelőerő a rovarra.

A repülés kezdeti időszakában sokat bajlódtak a szerkesztők a merev szárnyak veszélyes „berezgésével". Ez a leszakadó örvények nyomán lépett fel, és sokszor szárnytöréshez vezetett. Később sikerült megtalálni az ellenszert: a szárny belépőélének közelében nehezékeket helyeztek el, amelyek tehetetlen tömegükkel csillapítják a rezgéseket. M. K. Tyihonravov szovjet repülőgép-szerkesztő csak később fedezte fel, hogy a szitakötők már ősidők óta ismerik ezt a megoldást. Szárnyaik élén a csúcs közelében egy-egy kemény kitinszemcse található, amely a káros mellékrezgésektől óvja a rovarszárnyat.

A lepkék csodálatos színekben pompázó hímpora is érdekes aerodinamikai tulajdonságú. A káposztalepke 0,2 mm hosszú pikkelyei, amelyek a tetőcserepekhez hasonlóan fedik a szárnyat, növelik a felület érdességét. A szárny alsó felén szorosan egymásra simulnak, felső felén viszont ferdén kiállnak a szárnysíkból, így a szárny felett kisebb légnyomás alakul ki, mint alatta, s ez a felhajtóerő növekedéséhez vezet. W. Nachtigall kísérletei szerint a hímport eltávolítva, 15 százalékkal csökken a szárnyakon ébredő felhajtóerő. Más kutatók megfigyelései arra utalnak, hogy a hímpor különös „haladó hullámok" létrejöttét segíti elő a lepkeszárnyon.

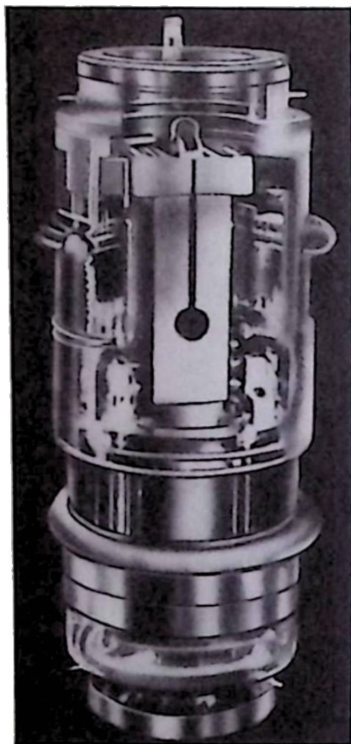
A kétszárnyúak rendjébe tartozó rovarok billére furcsa találmány! Ha eltávolítják például a légyről, még felszállni sem tud. Repülés közben ez a gombostű alakú szervecske a szárnycsapások ütemében rezeg, és másodpercenként akár 330-szor is „billeghet". A billérfejek tehetetlen tömege mindig ugyanabban a síkban rezeg, így a repülési irány tartásában segíti a rovart, ahogyan egy játék pörgettyű tengelyét is csak erőszakosan lehet elbillenteni. Ha a rovar eltér repülési irányától, billérei elcsavarodnak, s ezt azonnal érzékeli az állat.



Szabad szemmel alig látható a parányi rovarok még parányibb szárnycsökevénye – a billér. Neve nagyon találó, mert repülés közben a szárnycsapások ütemében billeg például az egyik szúnyogfaj (balra) és a vércselégy (lent) „derekán". Ha megváltozik a rovar repülési iránya, erről az elcsavarodó billér küld jelzést az apró pilóta számára

Ennek a különös készüléknek a mintájára szerkesztették a mérnökök a girotront. Első pillantásra „dupla" csengőre emlékeztet: apró elektromágnesek között váltakozó áram hatására hangvilla alakú alkatrész rezeg. Az egész szerkezetet úgy függesztik fel, hogy bármely irányban elfordulhat, a vibráló „hangvilla" tengelye azonban mindig a tér azonos irányába mutat. Ha ehhez képest a repü-

lőgép helyzete megváltozik, a készülék azonnal jelzi. Amikor például dugóhúzóban zuhan a gép, a girotron ismét vízszintes repülésbe kormányozhatja. Napjainkban már annyira tökéletesítették, hogy rakéták irányítására is felhasználható.

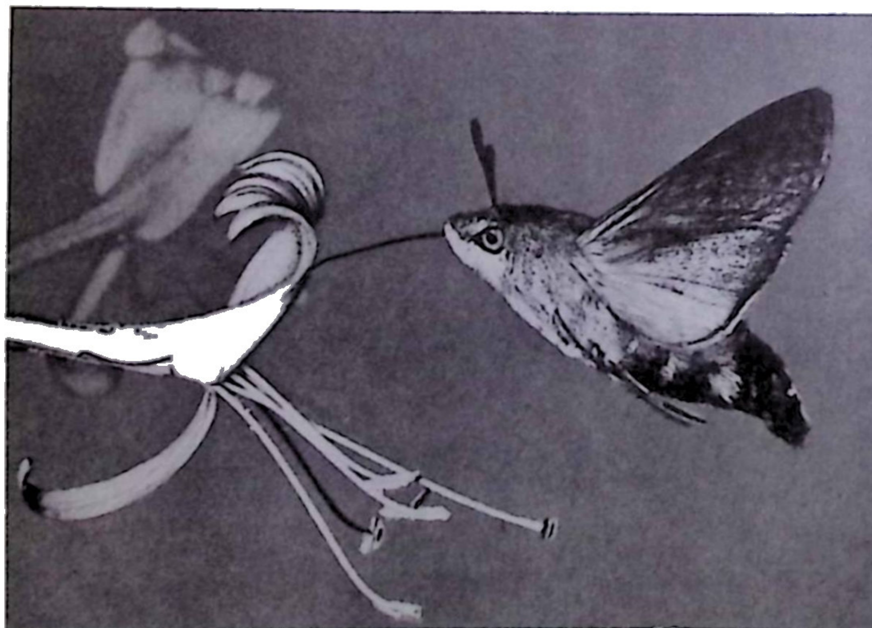


A rovarok billérének mintájára szerkesztett egyensúly-érzékelő műszer. Sokkal kisebb, mint a régebbi giroszkópok, amelyek a pörgettyű tehetetlensége révén jelezték a repülőgép helyzetváltozását. Ebben az elektronikus készülékben – a girotronban – tömör hangvilla formájú alkatrész rezeg, és azonnal érzékeli, ha a repülőgép megbillen

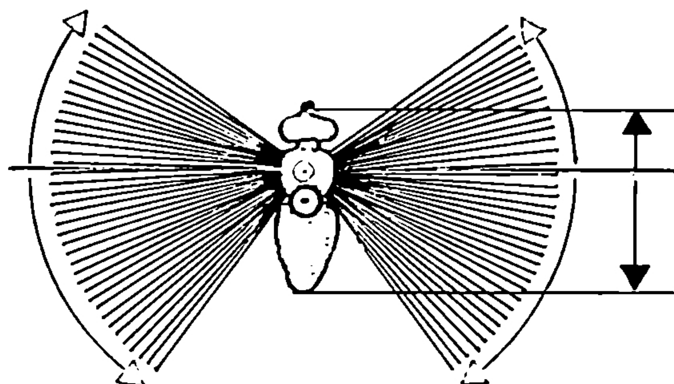
Nyolcas a szárnyakon

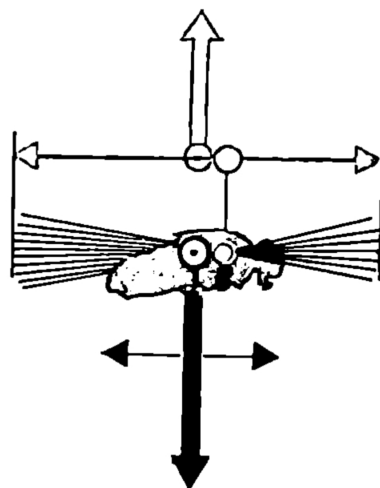
Ami a repüléstechnikában sokáig a legnehezebb probléma volt: az egy helyben lebegés, a rovarok számára szinte gyerekjáték. A zengőlégy például olyan mozdulatlanul lebeg, mintha a levegőbe szögezték volna. Ha nem hallanánk zümmögését, el sem hinnénk, hogy közben sebesen rezegteti szárnyait. Erre a légi mutatványra még a kitűnően repülő madarak is alig képesek. A nagy szenderlepke talán a legfeltűnőbb jelenség: hosszú szipókájával nektár után kutatva kitartóan lebeg a virágkelyhek felett. Még a helikopterek tökéletesítésében is „részt vett". Oemichen francia kutató lassított filmfelvételek alapján tanulmányozta szárnymozdulatait, és a megfigyelt törvényszerűségeket felhasználva tökéletesítette a helikopterek stabilitását.

Egy helyben lebegéskor a zengőlégy vízszintesen mozgatja szárnyait, mint a helikopter. Csak egy baj van: súlypontja éppen a tor és a potroh határvonalára esik, holott szárnyai előrébb, a toron

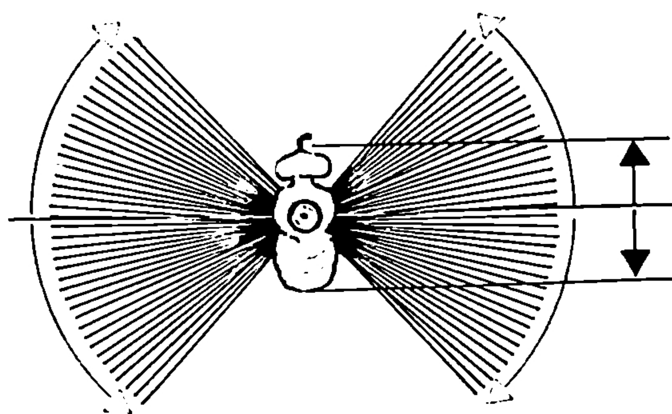


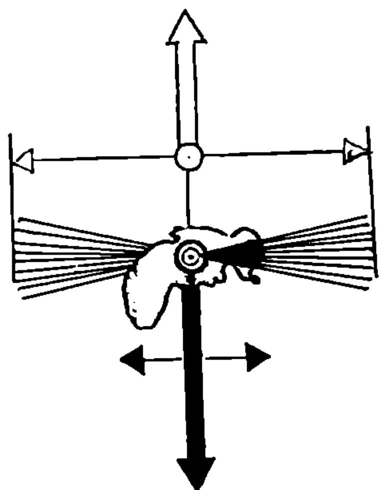
A kacsafarkú szenderlepke helikopter módjára lebeg a virág előtt. A felmetszett kehely elárulja, milyen mélyre nyúlik a rovar hosszú pödörnyelve, hogy elérje az édes nektárt. Szárnyai nem egészen vízszintesen mozognak, így az emelőerő mellett annyi vonóerő keletkezik, amennyi a virághoz szorítja a rovart



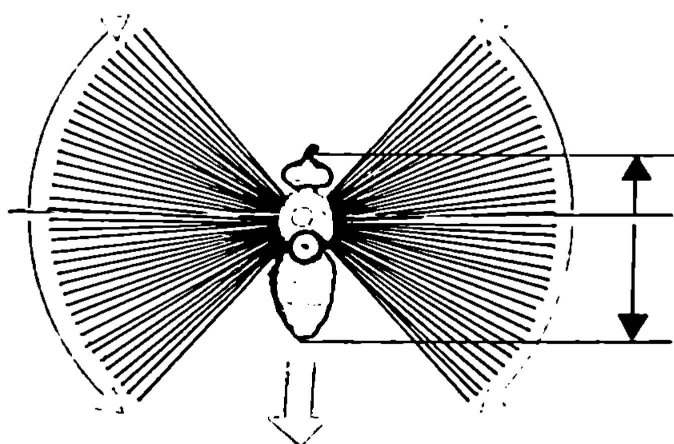


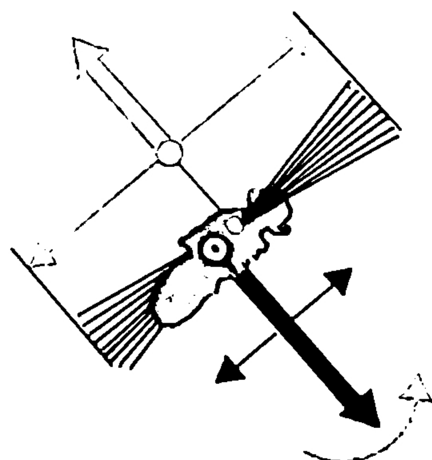
1





2



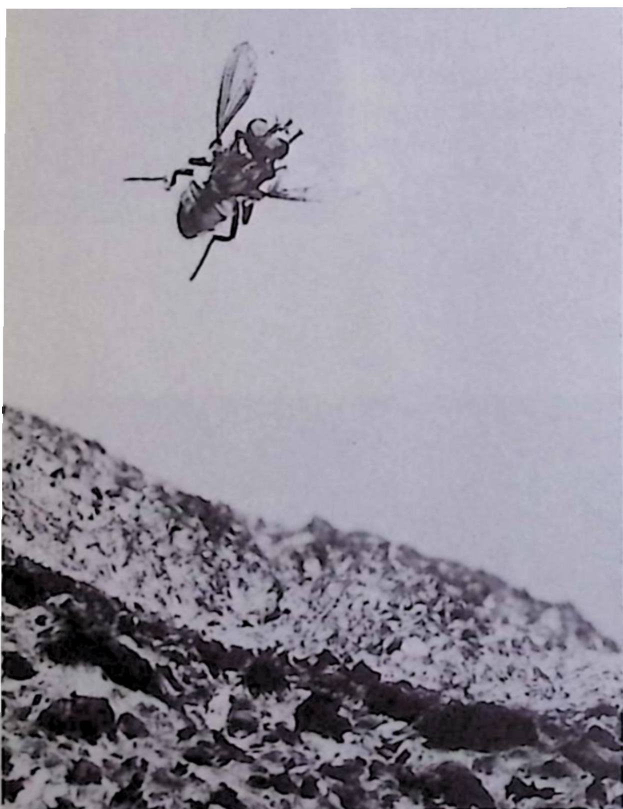


3

Könnyedén lebeg egy helyben a zengőlégy, ha vízszintesen mozgatja szárnyait. De hátrább levő súlypontja miatt valamilyen trükköt kell alkalmaznia, hogy fel ne billenjen. Vagy nagyobb ívben csap hátra, mint előre, mert így a testére ható emelőerő éppen a súlypontjához tolódik (1), vagy a potrohát begörbíti, s ezzel a súlypontja tolódik szárnyainak szabályos „legyezője" alá (2). Ha egyiket sem csinálja, a súlya hátrahúzza. Felbillen a levegőben, és meglepő módon hátrafelé repül! (3)

helyezkednek el. Hogyan védekezik a hátrabillenés ellen? Két módszer is rendelkezésére áll. Szárnyrezgéseinek „szimmetrikus legyezőjét" kissé hátratolja, tehát kisebb ívben csap előre, mint hátra. Így az emelőerők eredője most már a súlyponton megy át – kiegyensúlyozva lebeghet. De azt is megteheti, hogy lehajtja potrohát. Ilyenkor súlypontja éppen a szárnyak tövével kerül egy vonalba, és megint helyrebillen a lebegő mérleg. Ha viszont egyik manővert sem hajtja végre, meglepő dolog történik. A hátrabillenő testtel együtt a szárnyak rezgéssíkja is elfordul: a légy hátrafelé repül!

De az apró rovarok bármilyen irányban rezegtethetik szárnyukat. B. Hocking és más kutatók megfigyelése szerint vízszintes repüléskor szárnyuk rezgéssíkja



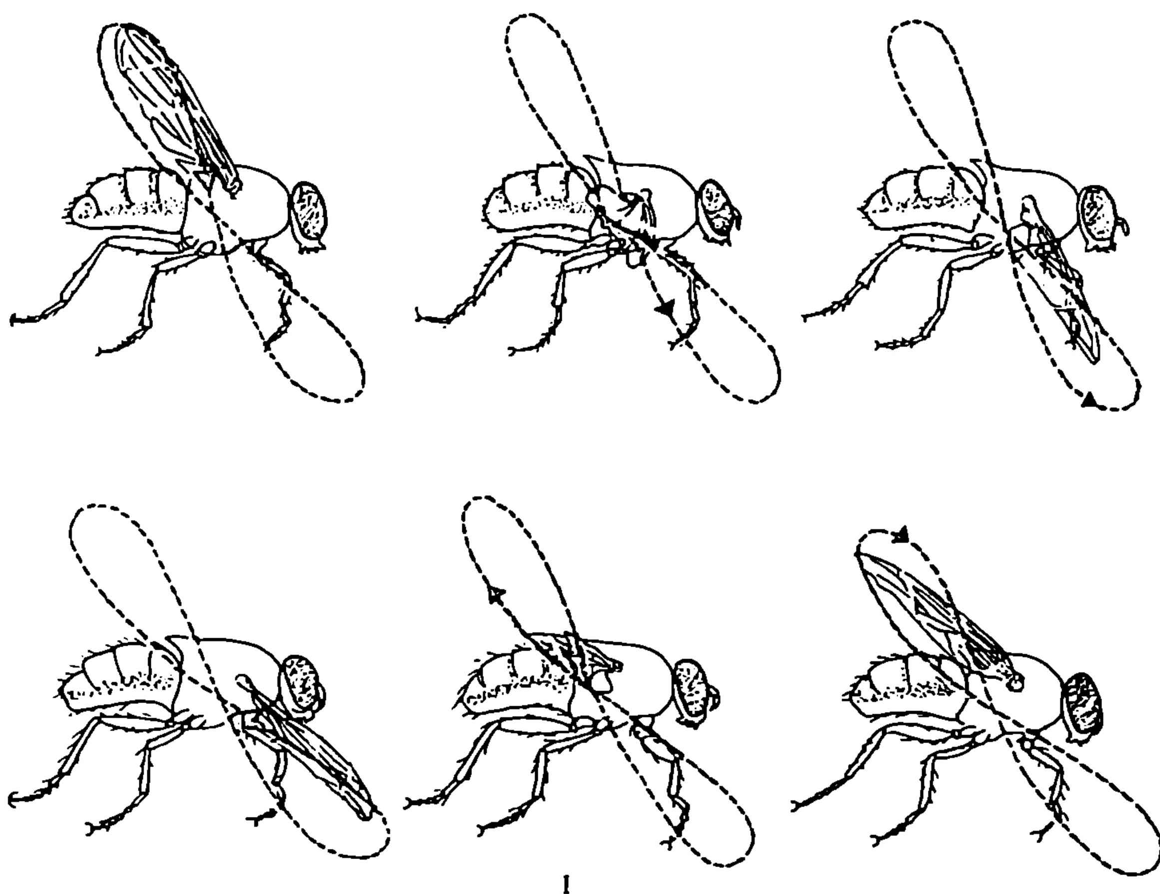
Startol a házi légy egy kenyérdarabról! Furcsán kicsavart szárnyai jól érzékeltetik, hogy ez a rovar bármilyen mutatványra képes a levegőben: Ha menekülnie kell, hátrafelé is felszáll könnyedén

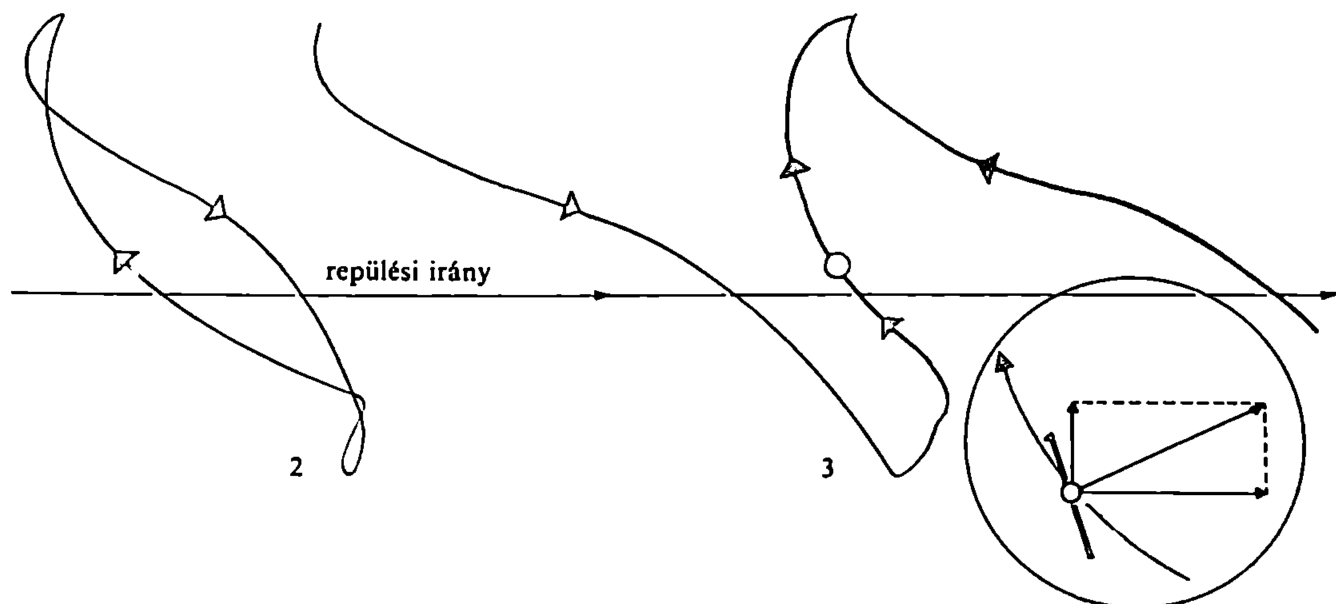
rendszerint 45 fokos szöget zár be a vízszintessel. Vajon miért? Próbáljuk ki egy kézben forgatott kis légcsavarral. Ha a csavar tengelye 45 fokos szöget zár be a vízszintessel, forgás közben ugyanakkora erővel húzza kezünket felfelé, mint előre. Itt van a titok nyitja: a rovar egyenlő arányban osztja el a szárnyain keletkező légerőt emelésre és haladásra. Az emelőerőt viszont éppen kiegyenlíti a rovar súlya. Így a 45 fokos szárnyrezgésből tiszta előrehajtó erő jelentkezik: a rovar vízszintesen repül!

Ez a haladás nem olyan egyenletes, mint a légcsavarhajtású repülőgépen, hiszen a rezgő szárnyak minden csapáskor kétszer (a test fölött és alatt) holtpontra jutnak. Ezek a legkritikusabb pillanatok! De a gyors szárnyrezgés következtében a magasságvesztés minden csapáskor csak ezredmilliméterekben mérhető. Végső soron tehát a rovar vízszintes repülése csaknem egyenletes sebességű haladó mozgás.

A lezuhanás veszélyéhez hasonlóan csalóka látszat az is, hogy a rezgő szárnyak a merev repülőgépcsavarok körpályájának síkjában lengenek. Az élő természet könnyedén túllép a gépi világ kötöttségein: rezgés közben a szárnyak csúcsa – ha oldalról követve nézzük a repülő rovart – nem egyenes, hanem kecses 8-as mentén mozog, a szárny első harmadának síkja viszont már hármas hurkot ír le. Így a csapások közben hajlongó szárnyak tovább növelik a felületükön ébredő emelőerőt.

Vízszintes repüléskor ugyanúgy manőverezhetnek a pöttömnyi légi járművek, mint helyben lebegéskor. Ha „rezgéslegyezőjüket" kissé lefelé tolják a 45 fokos csapásfelület mentén, azonnal felbillen fejpotroh mérlegük egyensúlya – a rovar ferdén száll felfelé. Ugyanez a játék megfordítva (a rezgő szárny legyezőjének



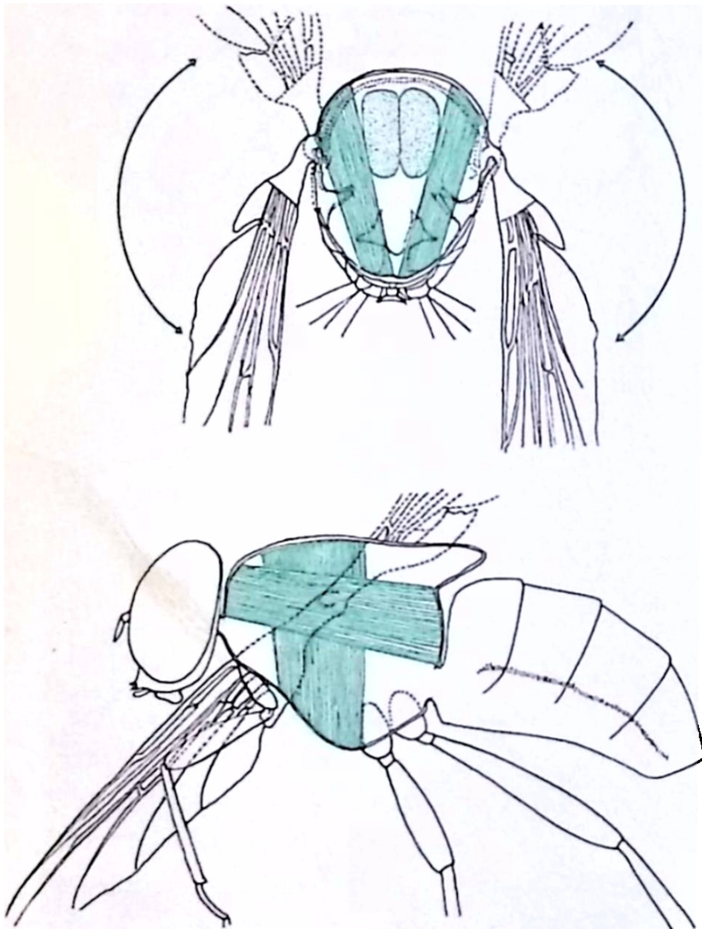


Vízszintes repüléskor a rovar szárnyának csúcspontja ferde nyolcast ír le a levegőben (1), szárnyának első harmada viszont különleges hármas hurkot rajzol (2). Ha távolról figyeljük repülését, szárnyának ez a metszete olyan görbét rajzol le, amely egyáltalán nem szabályos hullámvonal (3). De éppen ez teszi lehetővé, hogy a felfelé csapó szárnyon is emelőerő keletkezzék

felfelé tolásával) előrebillenti a rovartestet – a „gép" máris ferdén lefelé száll.

De hogyan fordulhat oldalirányba? Hiszen nincs rajta olyan függgőleges kormánysík, mint a repülőgép farkán. Nem nehéz kitalálni a választ: ezt a feladatot is a szárnyak végzik! A rovar kisebb rezgési sebességre kapcsol azon az oldalon, amerre fordulni akar. Sőt még arra is képes, hogy rezgés közben önállóan elcsavarja szárnysíkjait. Ez pontosan az a módszer, ahogyan a helikopter pilótafülkéjéből mechanikus úton állítják meredekebbre forgás közben a csavarlapátokat a nagyobb felhajtóerő érdekében.

A szárnyak mozgatószerkezete külön



Keresztirányú izomkötegek játékából alakulnak ki a ritmikus szárnycsapások. Fenn a rovar keresztmetszetében, lenn a hosszmetszetében láthatók az izmok. Ha a függőleges irányú hát-hasi izmok húzódnak össze – a szárny felcsap; ha a vízszintes hosszanti izmok húzódnak össze – a szárny lecsap

mechanikai remekmű számos apró, finom alkatrésszel. A „gépház" – a tor keresztmetszete – úgy fest, mint egy ókori evezős gálya belseje, amelyben a kétkarú emelő elvén dolgoznak a lapátok. Efféle szerkesztési elvet találunk a rovarok testében is, csakhogy a „hajótörzs" két darabból áll: a haslemez kemény kitinteknőjében lesüllyeszthetően nyugszik a rovar domború hátlemeze, s ott, ahol a szélek találkoznak, nyúlnak ki a szárnyak „evezőnyelei". Kétoldalt a kettő közötti rés határozza meg, mekkora izomerő kell a szárnyak mozgatásához. A szárnyvég ugyanis a hátlemez széléhez kapcsolódik, forgáspontja pedig a haslemez szélén van. Ha a hátlemez felemelkedik – a szárny lecsap. Ha a hátlemez lesüllyed – a szárny felfelé mozog.

A mozgatóizmok elhelyezkedése szellemes mechanikai megoldás. A közvetett hát-hasi izmok a szárnyak tövénél függőleges irányban húzzák lefelé a hátlemezt: ilyenkor a szárnyak felfelé csapnak. De a hátlemez felfelé mozgatására már nem kínálkozik ilyen egyszerű megoldás, hiszen ezek a felfelé húzó függőleges izmok kilógnának a rovarból. Képtelen ötlet! Az élő repülőgépekben sokkal egyszerűbben kapott helyet az ellenizomzat.

Képzeljünk el egy félbevágott gumilabdát – ez legyen a rovar hátlemeze. Ha az asztalra fektetve két szélét összenyomjuk, erre az irányra merőlegesen a labda két széle felemelkedik. Valahogy így oldották meg a rovarok a nehéz problémát. A hátlemez széleit emelő két izomköteg a tor hosszában helyezkedik el, és ugyanúgy húzza össze a hátlemezt, mint mi a gumilabda széleit. Ilyenkor a csuklósan kapcsolódó szárnytövek kétoldalt felemelkednek – lecsap a páros szárny. A hát-hasi izmok most már ismét lehúzhatják a szárnyvégeket, s ez így megy váltakozva, hihetetlen gyorsasággal.

Amikor J. W. S. Pringle angol biológus mikroszkóp alatt vizsgálta egy háziméh szárnymozgató szerkezetének parányi alkatrészeit, kiderült, hogy ezek még arra is lehetőséget nyújtanak, hogy lecsapás és felcsapás közben a méh „elcsavarja" szárnyainak állásszögét, ahogyan az evezősök fordítják el a lapátot. Nem csoda, hogy a légy vagy a méh könnyedén, tetszés szerinti síkokban, tetszés szerinti hajlásszögekkel és tetszés szerinti rezgésszámmal mozgatja szárnyait.

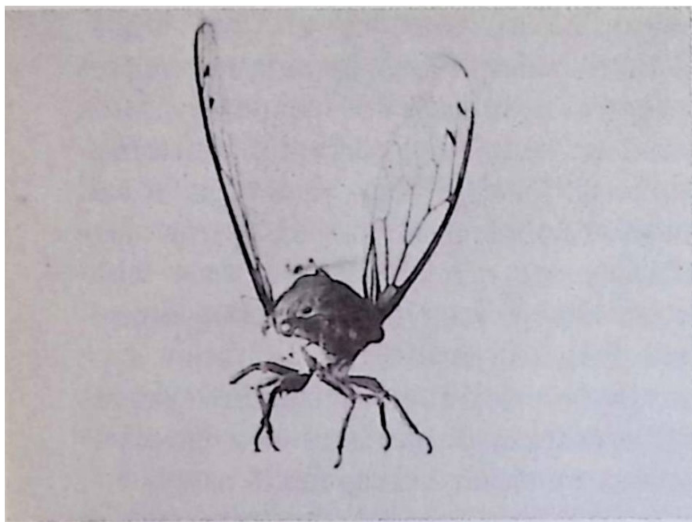
Egyes rovarok azonban nem bajlódnak a szárnycsapások rezgésszámának változtatásával. A vándorsáskák például kitartó repülők, így nyilván egyetlen ritmusra állítják be „motorjukat", s a szárnyak különféle mozgatási trükkjeivel manővereznek. Legalábbis ezt bizonyítják M. Jensen dán kutató mérései: a szélcsatornában felfüggesztett sáskák bármilyen irányban repültek, percenként 1040 szárnycsapással haladtak mindig.

A táncmester frakkja

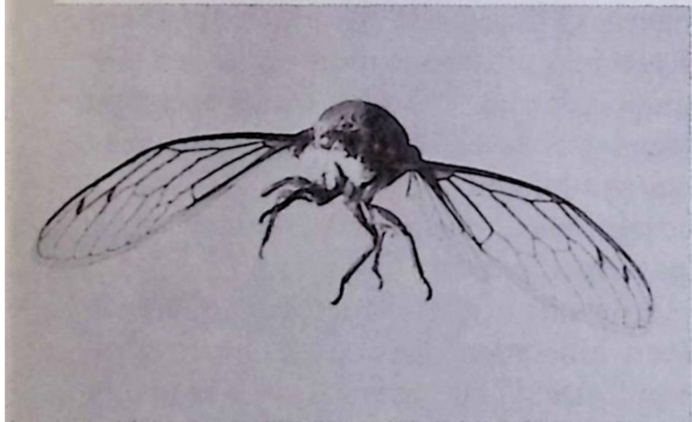
Általában minél nagyobb zajjal, zümmögéssel repül egy ilyen apró helikopter, annál nagyobb nehézségekkel küszködve halad légi útján. Hiába, nem mindegyik rovar tett szert olyan kitűnő konstrukcióra, mint a szitakötő, amely néhány másodperces szárnymozgatás után 5–6 métert suhan könnyedén és hangtalanul a levegőben. A gyors légikalóz teste az ember alkotta „duplafedeles" gépek ragyogó mása a természetben. Hosszúkás, bot alakú teste kisebb ellenállást kelt a levegőben a tömzsi rovartestekhez képest, és érdekes „mérlegelvet" valósít meg. Két pár szárnya ugyanis egymással ellentétes ritmusban rezeg fel-le. Ha teste ugyanolyan rövid lenne, mint például a poszméheké, csak bukdácsolva repülhetne nagy felületű szárnyaival: hol előre-, hol hátrabillenne. Szárnycsapásai ugyanis forgatónyomatékot keltenek, s úgy járna, mint az a vígjátéki szereplő, aki szórakozottan leül egy lóca végére, és a pad hirtelen felbillen. A hosszúkás test megakadályozza ezt a billenést, mert tehetetlen tömege kiegyenlíti a szárnyak keltette forgatónyomatékot.

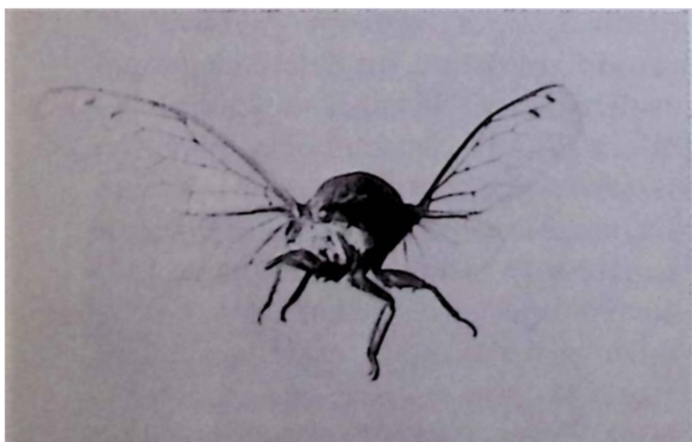
A nyári esték zümmögő szúnyogszerenádja érdekes dolgot árul el a bionikusoknak: a rovar szárnyainak rezgésszámát. A szárnycsapások úgy rezegtetik a levegőt, mint a hangvilla. Minél gyorsabb a rezgés, annál magasabb hang keletkezik. A normál *a* hang 440/mp-es rezgés, amit a legtöbb szúnyog könnyen előállíthat, sőt a mérések szerint olyan fajaik is vannak, amelyek másodpercenként akár 1000-szer is rezegtethetik szárnyaikat. (Egy-egy rezgés ilyenkor azt jelenti, hogy a szárny egyszer le- és felcsap, tehát kiindulási helyzetébe tér vissza.) A zengőlegyek könnyed lebegését is ezért kíséri olyan magas zümmögő hang, hiszen másodpercenként 300–350 szárnycsapással függnek a levegőben. A kék dongólégy szárnya lassabban, általában 200-szor, a poszméheké pedig 180–240-szer rezeg másodpercenként.

Hogyan feszülhetnek-ernyedhetnek ilyen hihetetlen gyorsasággal a rovarok repülőizmai? Az emlősök és a madarak izomrostjai a megfigyelések szerint legfeljebb hússzor képesek összehúzódni másodpercenként a megfelelő idegimpulzusok hatására. Ha ennél nagyobb rezgésszámra akarják késztetni őket, görcsösen összehúzódnak, és felmondják a szolgálatot. A kérdőjel a poszméh alapos vizsgálata nyomán tűnt el. Kiderült, hogy szárnymozgató izmai nem kapnak tíznél több mozgási utasítást másodpercenként, de ezekre nemcsak egy-egy összehúzódással, hanem egész rezgéssorozattal vá-









laszol. Az egymást követő villamos impulzusparancsokból már folyamatos rezgés alakul ki.

Ha a zengőlégy egy órát röpköd megállás nélkül, szárnyaival több mint egymillió csapást végez. A rovarok parányi repülőszerkezeteinek láttán szinte hihetetlen, milyen óriási teljesítményű motor rejtőzik bennük. Svachulay Sándor, a magyar repülés kiváló úttörője szellemesen jegyzi meg *A természet aviatikusai* című könyvében: „Ezek a parányi és roppant gyorsan rezgő szárnyak önkéntelenül komikus hasonlatot juttatnak eszünkbe, mert e röphártyák aránylag nem nagyobbak, mint egy táncmester frakkjának libegő szárnyai. Milyen furcsa volna, ha ezek a frakkszárnyak is hasonló gyors rezgésbe jönnének, és a táncmester őrült sebességgel iramodna fel a levegőbe!" Nemhogy egy táncmester, de még egy izmos sportoló sem képes arra, hogy pusztán saját izmainak erőkifejtésével emelkedjék a magasba. Az egyszemélyes izomerővel működő repülőszerkezetek mind a mai napig csak kísérleti állapotban vannak, a rovarok viszont nap mint nap végrehajtják szemünk láttára ezt a bravúrt. Sőt az egy helyben lebegő zengőlégy saját súlyánál kétszer nehezebb teherrel is könnyedén a levegőben marad. A lepke szárnymozgató izmaiban még nagyobb energiák rejtőznek: testsúlyának akár több százszorosát is képes felemelni.

Az emberi izmok vegyi energiát alakí-

Bravúros felvételsorozat egy észak-amerikai kabóca repüléséről. Az első két képen a szárny lefelé csap, a másik kettőn felfelé. Csak úgy sikerült a gyorsan rezgő rovarszárnyat ilyen tökéletes élességgel lefényképezni, hogy egy elektronikus megvilágító berendezés minden felvételkor csupán egy milliomodmásodpercre villant fel

tanak át mozgási energiává, de egyáltalán nem tökéletesen. Az energia 75 százaléka elvész az átalakulás során, így izmaink hatásfoka kb. 25 százalék. Ahhoz képest, hogy a gépkocsik motorjának hatásfoka körülbelül ugyanennyi, nem lehetünk elégedetlenek. De mennyire gazdaságos a rovarrepülés? Gondos elemzéssel megállapították, hogy ha például egy méh 260 szárnycsapással óránként 20 km-es sebességgel repül vissza kaptárjába az összegyűjtött virágporral (s így teljes súlya a terheléssel együtt kb. 0,2 gramm), akkor a tiszta cukor fogyasztásából kapott energia alapján úgy látszik, hogy gazdaságosan dolgozik: hasznos terhelésének mindössze 9 százalékát kell motorjának üzembentartására fordítania. A 2 gramm súlyú sáska viszont egyórás repülés alatt annyi energiát használ fel, amellyel 1,3 kg súlyt lehet 60 cm magasba emelni. Izmainak energiaátalakítási hatásfoka tehát a számítások szerint kb. 20 százalék, ami még az emberénél is rosszabb.

A motor teljesítménye a jármű sebességét is befolyásolja, de a rovarok cikázó gyorsaságát legalább olyan nehéz meghatározni, mint a többi állat haladási sebességét. Ahány mérés, annyi érték. Különféle adatok egybevetése alapján valószínű, hogy a rovarvilág csúcstartói a jellegzetes szőrös testű éjszakai lepkék, a szenderek, amelyek a természet alkonyi szendergésekor kelnek légi útra 15 m/mp sebességgel. A kitűnően repülő szitakötő a legnagyobb igyekezettel is csak 10 m/mp-et ér el, a méhek sebessége pedig még ennél is kisebb: a Nobel-díjas nyugatnémet méhkutató, K. Frisch professzor mérése szerint 6,5 m/mp. A sáskák egyáltalán nem sietnek, ha félelmetes pusztító hadjáratukra indulnak. T. Weis-Fogh mérései szerint 3,6 métert tesznek meg másodpercenként, hacsak nem segíti őket a hátszél. A káposztalepke egy másodperc alatt mindössze 2,3 méterre jut, ami azt bizonyítja, hogy nagy szárnyai ellenére a legrosszabbul repülő rovarok közé tartozik.

Ahhoz képest, hogy a sarlós fecske 100 km-es óránkénti sebességgel suhan az égen, egy jobb repülőgép pedig játszva tesz meg óránként 900 km-t, a rovarok repülési sebessége szinte nevetséges. Ám ha e kis repülőszerkezeteket abból a szempontból vizsgáljuk, hogy saját testhosszukhoz képest mekkora távolságra juthatnak el, egy csapásra megváltozik a verseny helyezési sorrendje. Még az 5 m/mp sebességgel repülő dongó is azonnal az élmezőnybe kerül, mert testhosszának tízezerszeresét teszi meg! Mögé szorul a sarlós fecske 8300-szoros testhosszal, az előbbi példában említett repülőgép pedig az utolsó helyen vége: 1500-szoros arányával.

Ez az eredmény még lenyűgözőbb, ha arra gondolunk, hogy a rovarok hihetetlenül nagy távolságokra juthatnak el. Híres távrepülők például a sáskák, a különféle tarka lepkék, de még a púpos szúnyogok családjába tartozó afrikai feketelegyek is 320 km-t repülhetnek megállás nélkül, ami testhosszuk 100-milliószorosát jelenti.

Milyen nagyszerű lenne olyan repülőgépet szerkeszteni, amely ugyanúgy csapkod a szárnyaival, mint a rovarok, és legalább olyan légi bravúrokra képes, mint például a legyek! Elsőként A. O. Jardanoglou görög feltaláló szerkesztett ilyen rovarrepülőgépet 1949-ben. De a masina semmi áron sem akart a levegőbe emelkedni. Csupán arra volt jó, hogy a gyakorlatban is bebizonyította, milyen keveset tudnak a szakemberek a rovarok repüléséről és szárnyműködéséről. Később O. Hawlowski lengyel kutató tervezett entomoptert (görögül *entomon* = rovar,

pteron = szárny), de a furcsa repülőgép csak a rovarrepülés fizikai törvényszerűségeinek tanulmányozására volt alkalmas. Szovjet kutatók is kísérleteztek olyan szárnymozgató szerkezettel, amelynek három lóerős motorja jelentős felhajtóerőt termelt, de ennek sem sikerült meghóditania a levegőt. Talán műanyagból készült hajlékony szárnyakat kellene alkalmazni, hogy a szerkezet a rovarok könnyedségével libbenjen a levegőbe, és önsúlyán kívül legalább egy embert is felemelhessen. Az aerodinamika szigorú törvényei alapján sikerült megszerkeszteni a merev légcsavaros helikoptert; a rovarok rezgő szárnyú repülésének tanulmányozása talán az ideális egyszemélyes entomopterok megalkotásához is elvezet.

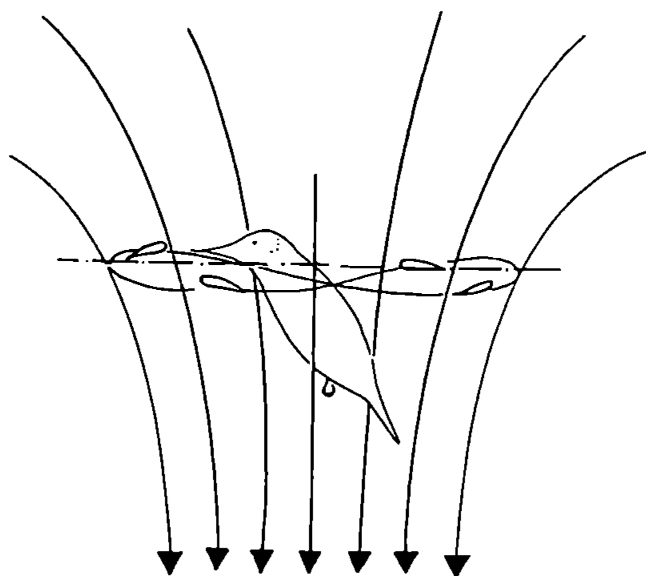
„Kettétört" madárszárnyak

Amikor a madárvilág legkisebb képviselője, a 2–3 cm hosszú, pöttömnyi kolibri a levegőben lebegve, hosszú csőrével szívja az édes nektárt egy virágkehelyből, alaposan meg kell dolgoznia ezért a légi bravúrért. Naponta annyi táplálékot fogyaszt, mintha egy ember a testsúlyával arányos erőt kifejtve, naponta csaknem két mázsa főtt krumplit enne meg.

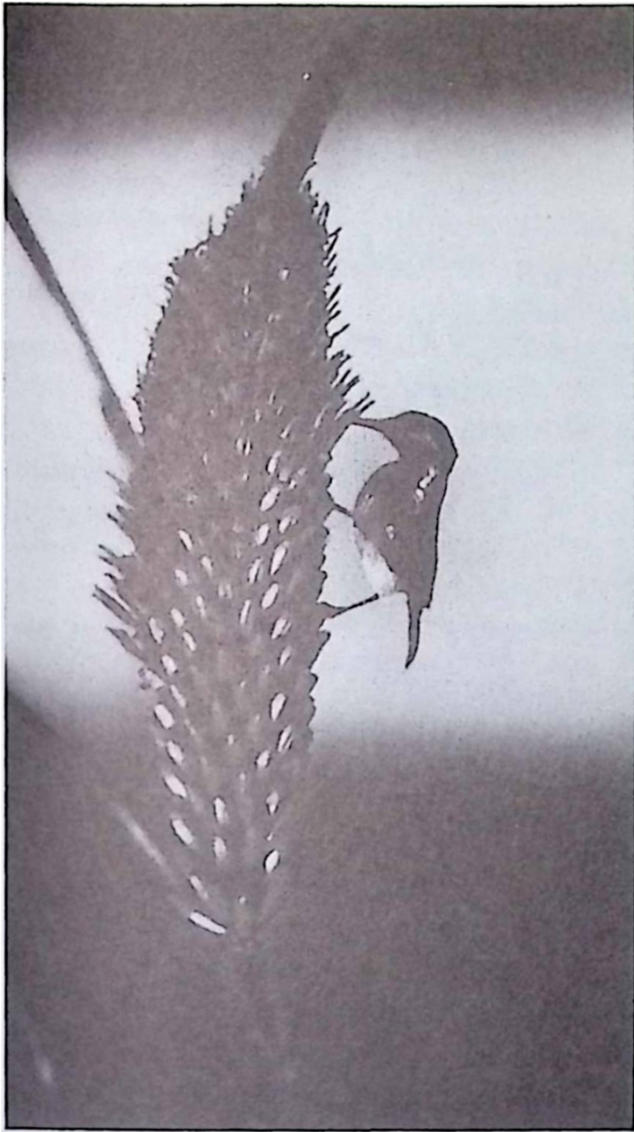
Így a többi madárhoz képest a tarka tollú kolibri eléggé lemaradt a gazdaságos repülés tudományában. Csak az nyújt számára kárpótlást, hogy nemcsak a helikopterrepülést ismeri, hanem a madarak között az egyetlen, amely hátrafelé is tud folyamatosan repülni. Szárnyaival ugyanúgy verdes félkörívben oda-vissza, mint a rovarok, így a helikopterek vízszintes csavarszárnyához hasonlóan kelti a felhajtóerőt.

A madarak többsége sokkal kisebb energiabefektetéssel használja ki a szárnyaló repülés előnyeit. Ősidők óta figyeli vágyakozva az ember ezt a különös képességet, s nem véletlen, hogy a csapkodó szárny képe szorosan összeforrt a repülés fogalmával. Az első bátortalan légi kísérletek is csapkodó szárnyú modellekkel kezdődtek. Nem is vezettek eredményre! A madarak ugyanis csak kényszerűségből csapkodnak szárnyukkal. Leggyakrabban éppen azok, amelyek a legroszszabb repülők, mert kifeszített szárnyukon nem ébred elég felhajtóerő. A 3,5–4 méter fesztávolságú albatroszok, a tenger kitűnő vitorlázórepülői szinte alig lebbentik szárnyukat. Olyan tökéletesen repülnek, hogy semmi szükségük erre a felesleges mozgásra. Általában minél nagyobb egy madár, annál kiforrottabbnak tekinthető repülési technikája, s így szárnycsapásainak száma is annál kisebb.

A madárszárnyban éppen úgy megtalálhatók a végtagokra jellemző csontok, mint a magasabb rendű állatokban. A szárnytőből nyúlik ki a felkar, ehhez az



Ventillátor módjára tereli maga alá a kolibri a levegőt, amikor egy helyben lebeg. Szárnyai nem fordulnak körbe, ezért minden félkörives csapás után „átállítja" szárnyprofilját.
Az egyetlen madárfaj, amely vízszintesen hátrafelé is tud repülni



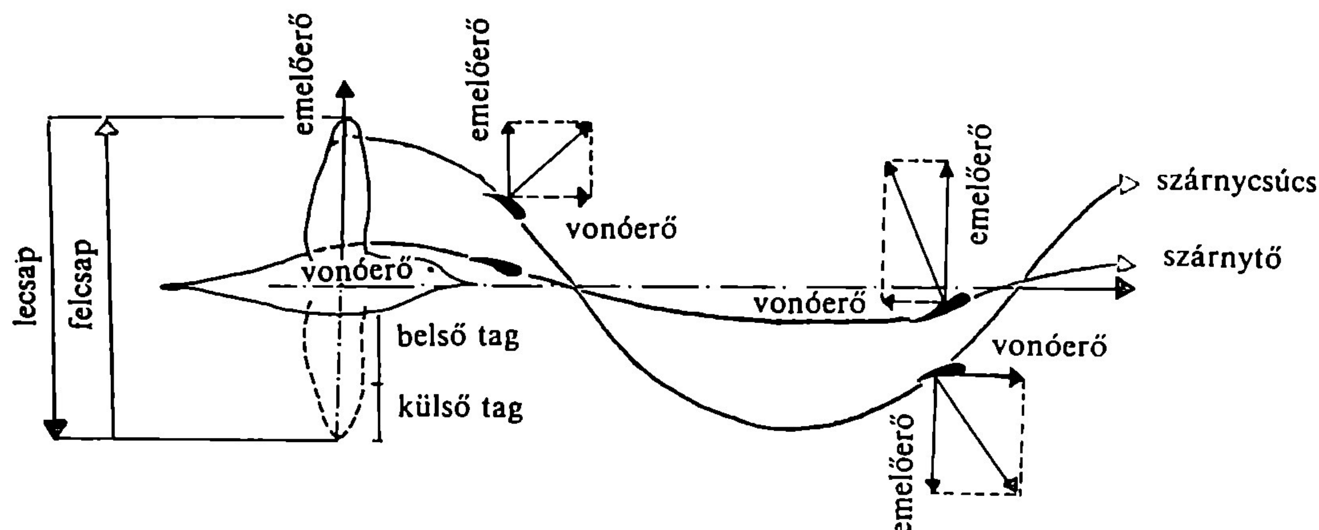
A mangófa virágján csipegető kolibri. A legapróbb termetű madarak közé tartozik, ezért könnyen utánozza a rovarok repülési stílusát. Amikor egy virág előtt lebeg, csaknem függőlegesen tartja testét, így súlypontja éppen félkörös szárnycsapásainak középpontjában helyezkedik el (jobbra)

alkar két csontja (az orsó- és a singcsont) csatlakozik, végül a néhány kéztő- és kézközépcsont, az összenőtt ujjak zárják le az elülső végtagot. Ez a tollakkal borított, hajlékony szerkezet teszi lehetővé, hogy pihenő helyzetben a kecses repülőszerszám a madár oldalához simuljon, kifeszítve viszont a legkisebb szél is belekapaszkodjon.

A kiterjesztett szárnyon a repülőgépekhez hasonlóan alakul ki a felhajtóerő: minthogy a szárny felül domború, alul pedig homorú, a mellette elsuhanó levegőben kisebb nyomás képződik fölötte, mint alatta. Ez a nyomáskülönbség emeli fel a madárszárnyat, amint ezt a szélcsatorna-kísérletek is bizonyítják. Még akkor is keletkezik rajta felhajtóerő, ha nem lebbenti meg a madár – ellentétben a rovarok hártyás szárnyával, amelynek szüntelenül csapkodnia kell a fennmaradáshoz. De ha tovább keressük a hasonlóságot a motoros repülőgép és a madárszárny között, önkéntelenül adódik a kérdés: hol van a madár légcsavarja?

A madárvilág természetesen nem engedhette meg magának azt a luxust, hogy különválassza a „lebegtető" szárnymechanizmust és az „előrehajtó" szerkeze-





A madár repülésében is azok a kritikus pillanatok, amikor szárnya felfelé csap. Ilyenkor csak a belső szárnytag emelőerejére támaszkodik, amely még a szárnycsúcs környékének lefelé húzó erejét is ellensúlyozni tudja. A vonóerőt továbbra is a külső szárnytag szolgáltatja

tet. Így a légcsavar a szárnyakban rejtőzik. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a repülés szempontjából két részre osztható a szárny: a belső és a külső tagra. A belső tag a szárny tövétől a madár „könyökéig" terjed, s lényegében a merev szárnyú gépekhez hasonlóan termel emelőerőt, a külső tag pedig a légcsavar.

De megint ugyanaz a probléma, mint a rovarrepülőgépeken: a természet nem ismeri a többször körbefordítható alkatrész fogalmát, ezért a madárszárny propellere is csak szakaszos, oda-vissza mozgással működhet.

Amikor a szárny lefelé csap, külső részén a tollak ferdén felhajolnak. Így legalább akkora emelőerő ébred rajta, mint amekkora vonóerő, amely vízszintesen hat a madárszárnyra. (Ugyanezt érezhetjük, ha ferdén lefelé tartott tenyerünkhöz kartonlapot szorítunk, majd a kezünket lefelé mozgatjuk. A papír nem esik le, hanem a tenyerünkhöz tapad.)

Ha viszont a szárny felemelkedik, külső tagjának tollai hirtelen átfordulnak,



Szinte repülőbemutatót tartanak a sirályok a befagyott Balatonon. A legfelső madár éppen felfelé csap, szárnya fordított V alakban törik meg. Lejjebb a másik sirály vitorlázva repül. A leszálló madár éppen a szárnyával fékez

végük lefelé mered. A szárny dinamikai légellenállásából ismét vízszintes vonóerő keletkezik. Csakhogy a függőleges irányú „felhajtóerő" ilyenkor lefelé mutat.

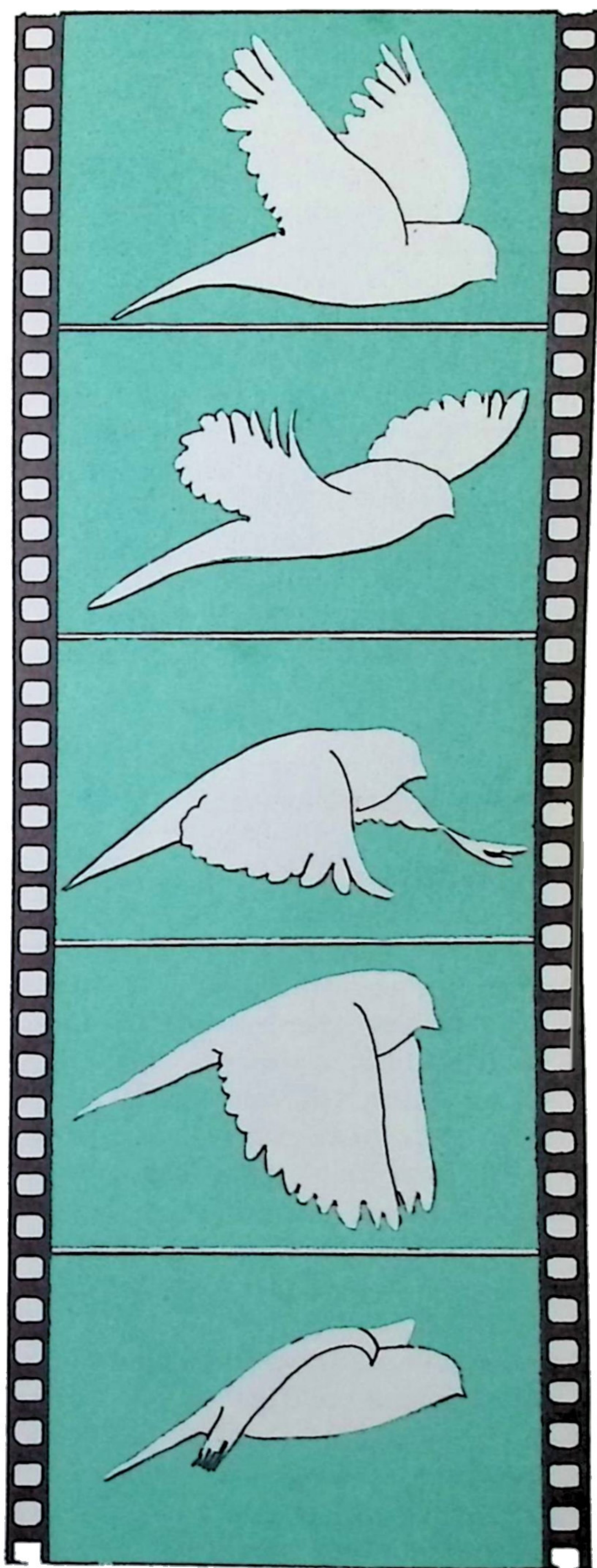
Nem zuhannak le ebben a pillanatban a madarak? Amint repülésük is bizonyítja: nem! Lefelé csapáskor ugyanis a belső szárnytagon ébredő emelőerő tartja fenn őket a levegőben.

Számtalan találgatás és elképzelés után ez az elmélet tükrözi legvilágosabban a madárrepülés mechanikáját. A tapasztalatok is ezt támasztják alá. J. H. Storer angol kutató lassított filmfelvételein például megfigyelhető, hogy amikor egy alacsonyan repülő hógém egy bokor felett szállt el, nem mozgatta szárnyának belső részét, nehogy beleütközzék az akadályba. Csupán a könyöktől kifelé eső szárnytagot, a „légcsavart" lengette. Ez nemcsak a madárszárny kétféle szerepét bizonyítja, hanem azt is, hogy külső része önállóan mozgatható.

A madárszárny hajlásszöge – a repülőgépekével ellentétben – változhat a repülés folyamán. Ha lassú, gyenge csapásokkal száll a madár, szárnyvégén csupán a tollak hegye hajlik be, tehát kis előrehajtó erő keletkezik. Ha azonban menekülnie kell, az erősebb szárnycsapások hatására a könyöktől kezdve az egész külső tag elfordul, így sokkal nagyobb vonóerő termelődik, mint korábban.

A madártest vízszintes mozgása is változik gyors repülés közben. Lecsapáskor felgyorsul, felcsapáskor pedig lelassul, ahogy azt a széncinkéről készült ábránk is mutatja. A madarak nem egyenletesen, hanem kissé lüktetve repülnek.

A rovarok repüléséhez hasonlóan a madarak is ismerik a súlyponteltolásban rejlő kormányzási lehetőségeket. Amikor gyors repülés közben a galamb csak az utolsó pillanatban vesz észre egy távíródrótot, hirtelen előrehajlítja szárnyait.



Széncinege gyors repülése egy filmfelvétel egymást követő öt kockája alapján. A képek közötti időkülönbség 0,01 mp

Súlypontja ezzel kissé hátratolódik a felhajtóerő „alátámasztási" pontjához képest, a madár hátrabillen, és felemelkedve suhan el a drót felett.

Sok előnnyel jár a szárnyfelület kisebbítése is, mert növekszik a madár vitorlázósebessége. Amikor például a fecske egy-két szárnycsapástól felgyorsulva továbbszáll, evezőtollait hirtelen behajlítja, szárnya sarló alakot ölt, és egyetlen lendülettel nyolc-tíz métert siklik. A kisebb szárnyfelület ugyanis kisebb ellenállást kelt, ami növeli a siklási sebességet. Ezt a módszert alkalmazzák a vitorlázórepülésben is, azzal a különbséggel, hogy egy mechanikus szerkezet a szárny kilépőélét húzza beljebb. A kisebb szárnyfelülettel gyorsabban suhanhat át a gép egy másik felszálló légáramlatba.

Pihekönnyű építőelemek

A természet találmányai közül sok apró kellék segíti a madarakat, hogy életterükben legalább olyan könnyedén mozogjanak, mint a négylábú állatok a földön vagy a halak a vízben. A repülési sebesség és az energiatakarékosság szempontjából például nélkülözhetetlen az áramvonalas test. Ezért tűnt el a madarak nyaka! Persze nem véglegesen, csupán vastag tolltakaró borítja, amely enyhén ívelt felületet alkot a testfedő tollakkal.

A toll a madárszárny legfontosabb „építőeleme". A szárnytollak kissé ívelt alakúak. Ennek köszönhető a madárszárnyakon ébredő felhajtóerő. A tollak könnyebben hajlanak lefelé, mint fölfelé, így a belső szárnytagon az emelőerőt, a külső szárnytag lengésekor pedig a vonóerőt növelik. Minél tömzsibb, hengeresebb a madár, annál görbültebb ívben simul testéhez csukott helyzetben a szárny. A kifeszülő íveltebb szárnyon nagyobb felhajtóerő keletkezik, és erre éppen a súlyosabb, hengeres testű madaraknak van szükségük. Ez a természet önszabályozó módszereinek egyik szép példája: a madártest egyúttal a szükséges repülőszerkezet ideális kialakulását is meghatározza.

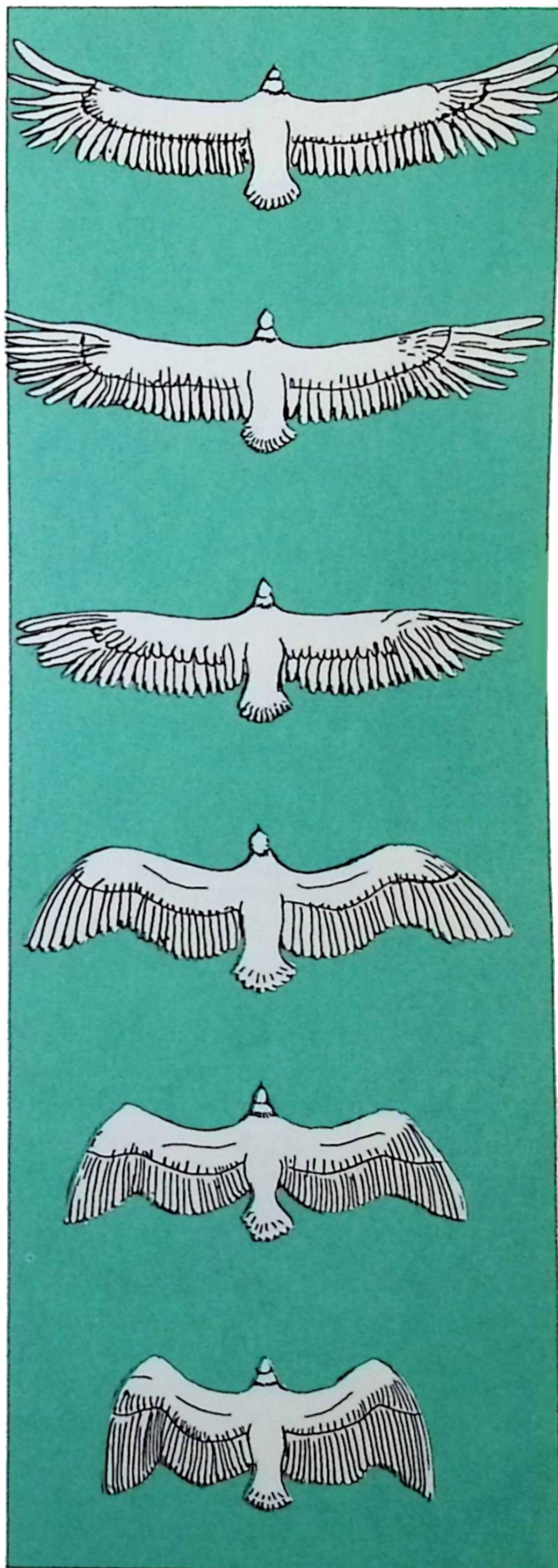
A tollak – főként a pihetollak – az időjárás viszontagságaitól is védik a madártestet, ezért a bionikusok hasznosították titkát. Az egyik kaliforniai textilgyár laboratóriumában kettős rétegű anyagot kísérleteztek ki. Külső rétegét finom műanyag szálas tollak alkotják, belső felülete viszont olyan hőelem réteg, amelyben annál több villamos feszültség halmozódik fel, minél melegebb az emberi test. Nagy melegben, amikor a ruha a legerősebben töltődik fel elektronokkal, a negatív töltések taszító hatására a tollak felborzolódnak, és parányi zsalugáteres ablakok módjára nagyobb szellőzést engednek a testnek. Hidegben éppen fordítva működik a ruha: a tollak szorosan lesimulnak, és kitűnően hőszigetelnek.

A madarak többi építőanyaga is a legnagyobb célszerűséggel szolgálja a repülést. Minél kisebb súlyt emelni a levegőbe – ez a legfontosabb szempont! Nem véletlen, hogy a galamb csontváza egész testsúlyának mindössze 4,4 százalékát teszi ki, holott egy hasonló súlyú patkányban ez 5,6 százalék. R. Murphy amerikai kutató mérései szerint az egyik legkitűnőbb élő repülőgép – a hajósmadár – csontváza még tollainak összsúlyánál is könnyebb. A madarak keresztcsontja és medenceövcsontja is egyetlen csonttá forrt össze, rendkívül könnyű vázszerkezetet alkotva. Újabb hasonlóság a technika világával! Hiszen a mérnökök mindenütt üreges szerkezetű alkatrészeket használnak, ahol változatlan szilárdság mellett csökkenteni kell a súlyt. Még a galamb koponyacsontjai is üre-

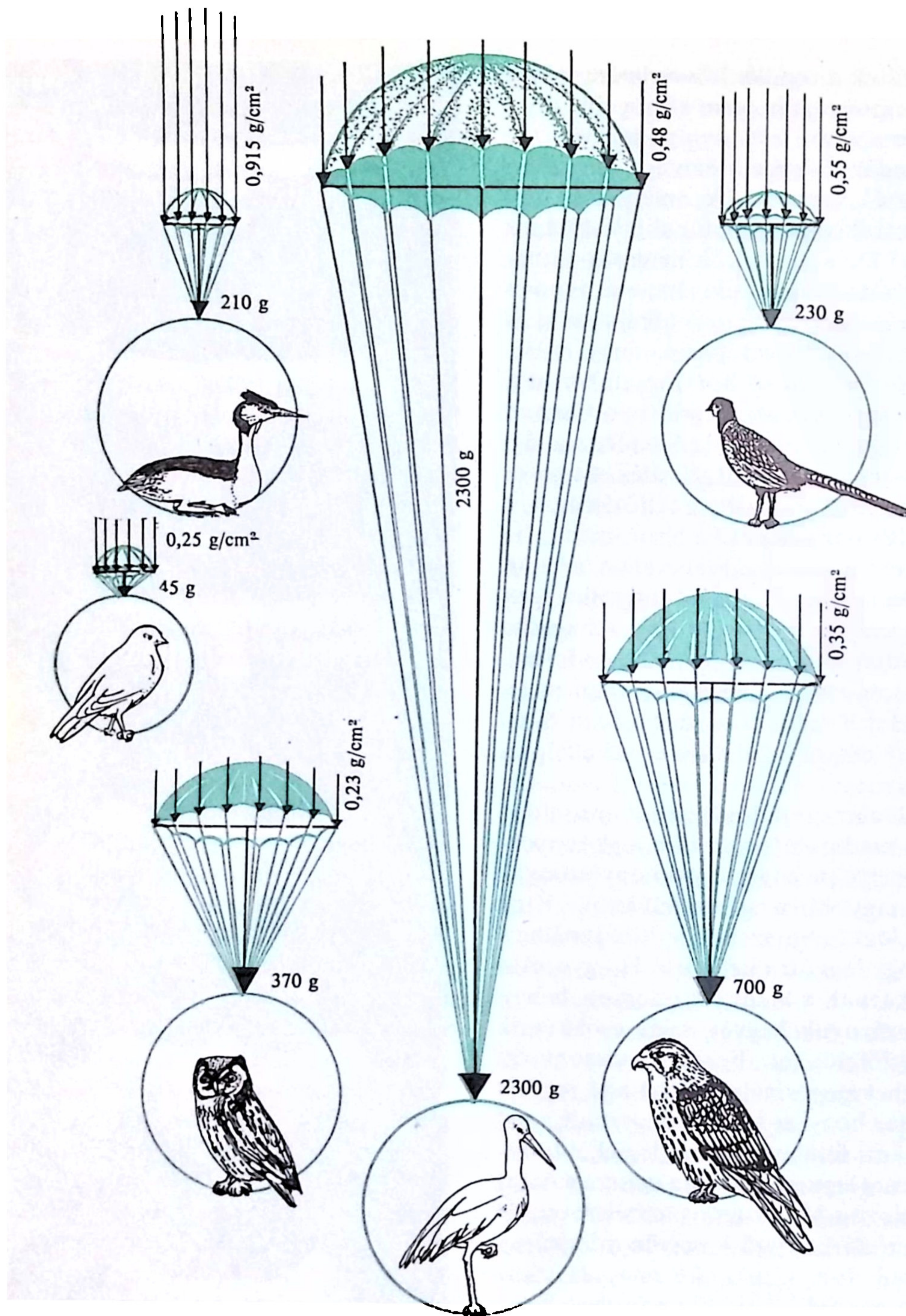
gessé váltak a repülés követelményei szerint, s koponyája hatszor könnyebb, mint egy vele azonos testsúlyú patkányé.

A madár tüdejéhez öt vagy még több pár légzsák kapcsolódik, amelyek az üreges csontokba is benyúlnak. Valóságos léghajó! De a légzsákok nemcsak a madár súlyát csökkentik, hanem repülés közben levegőtárolásra is alkalmasak, és elvezetik a szárnycsapások nagy erőkifejtésekor keletkező hőt. Az emberi test térfogatához képest a tüdő mindössze 5 százalék helyet foglal el. A vadkacsa légzőrendszere viszont 20 százalékot tesz ki, amiből csak 2 százalék a tüdőtérfogat, a többi 18 a légzsákoké. Nem csoda, ha csaknem két évszázaddal ezelőtt, a repülés hajnalán, amikor a Montgolfier testvérek meleglevegős léggömbje a magasba emelkedett, a tudósok még azt gondolták, hogy a madarak is légzsákjaikban melegítik fel a levegőt, s ez tartja fenn őket. Ma már mosolyogni való ez az elképzelés.

A vitorlázó repülőgépekhez hasonlóan azok a madarak lebegnek a legkönnyebben, amelyeknek testsúlyukhoz viszonyítva legnagyobb a szárnyfelületük. Ezek már a legkisebb szellőt is kihasználhatják, hogy légi útra keljenek. Ha gyorsabban akarnak siklani, egyszerűen behajlítják szárnyuk hegyét, s így csökkentik az emelőfelületet. Fordítva viszont ezt nem lehet megcsinálni! Ezért a jó repülés feltétele, hogy a szárny négyzetdeciméterenkénti felületterhelése legfeljebb 60–80 gramm legyen. A fecske messze a határ alatt mozog 35 grammos terhelésével, de a kitartóan keringő keselyűé a legköny-



Könnyedén lebeg a kiterjesztett szárnyú keselyű. Ha gyorsabban akar siklani, behajlítja szárnyát. Minél kisebb felületre „támaszkodik" a levegőben, annál jobban növekszik siklási sebessége, de lefelé is erőteljesebben süllyed



Minél nagyobb szárnyfelületre támaszkodik a madár, annál könnyebben repül. Az ejtőernyő is lassabban ereszkedik, ha nagy az átmérője, és kicsi a rajta függő súly. Az ábrán az ejtőernyő átmérője a szárnyfelülettel, a hossza a madár súlyával arányos. Az ernyő peremén a függőleges nyilak annál hosszabbak, minél nehezebben marad a levegőben a madár



Változtatható szárnyállású szuperszonikus repülőgép terve. Felszálláskor csaknem egy vonalba esnek nyitott szárnyai. Amint kezd felgyorsulni, szárnyait egyre jobban „behúzza". Ilyenkor a kisebb szárnyfelület is elég emelőerőt termel, és kisebb a légellenállása is

nyebb konstrukció: mindössze 27 gramm súly terheli szárnyának minden tenyérnyi darabját.

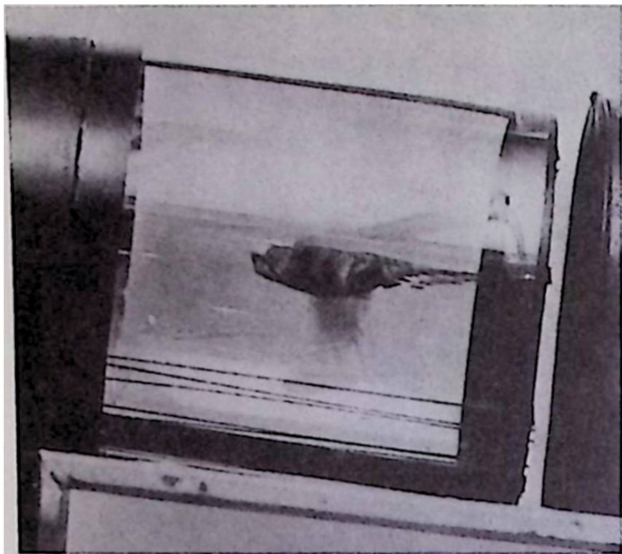
Kétségtelenül azok a madarak repülnek a legküzdelmesebben, amelyeknek testsúlyukhoz képest kisebb a szárnyuk. Két azonos súlyú madarat – egy fürjet és egy sirályt – vizsgálva, szembeszökő a különbség szárnyméreteikben: a sirály fesztávolsága (kifeszített szárnyának két csúcsa közötti távolsága) több mint kétszerese a fürjének. Ez az eltérés már a legtöbb energiát és ügyességet igénylő felszállásban is meglátszik. A fürj a legnagyobb erőfeszítések árán kapaszkodik a levegőbe, míg a sirály könnyedén lebben fel még egy vízhullámról is. Minél nagyobb a szárny – annál biztosabb a repülés! De a szárny alakja is döntő. A sas szárnyának hossza nyolc-kilencszerese szélességének: ez a legtökéletesebb arány. A kisebb madaraknak „szétterülőbb" szárnyuk van, ezért nem képesek olyan mozdulatlan keringésre, mint a sas vagy a „deszkaszárnyú" albatrosz.

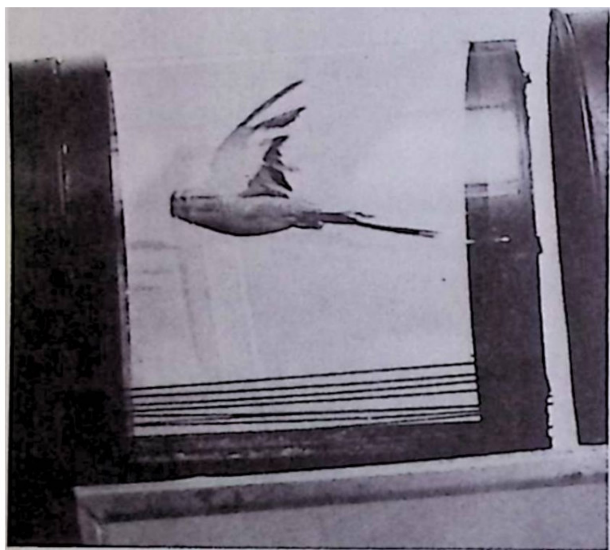
Fogyókúra repülés közben

A gyors szárnymozgás rengeteg energiát emészt fel. C. H. Greenewalt lassított filmfelvételei szerint az egyik kolibrifaj másodpercenként 80-szor csap előre-hátra. Jelenleg ez a hitelesített szárnylengetési rekord a madárvilágban. Repülőizmainak teljesítménye bámulatos. Ha súlyával arányosan egy ember akarna hasonló erőt kifejteni, másodpercenként 56 cementes zsákot kellene egy méter magasra dobálnia!

Ha azt vizsgáljuk, mennyi energiára van szüksége a madárnak ahhoz, hogy testsúlyának egy-egy grammját egy kilométer távolságra röpítse, akkor az ember alkotta repülőgépek különféle típusai előnyösebbnek bizonyulnak az élő légi járművekkel szemben. Vance A. Tucker amerikai professzor mérései szerint egy 35 grammos törpepapagáj – amikor a leggazdaságosabban, tehát a legerőkímélőbb sebességgel óránként 42 km-t tesz meg – átlagosan 3 kalória energiát fogyaszt. Ez 3 fokkal melegítene fel egy gyűszűnyi vizet. Ugyanilyen feltételek mellett a rovarok ennek az energiának körülbelül a tízszeresét használják fel, a helikopterektől a sugárhajtású gépekig viszont ez az érték csak 1–5 kalória.

A professzor egy meglepő energetikai szabályra is fényt derített. Amikor a törpepapagáj 43 km/ó sebességgel 5 fokos emelkedési szögben repül, annyival több energiát fogyaszt a vízszintes repüléshez képest, mint amennyivel kevesebbet hasz-





Csak laboratóriumi körülmények között vizsgálható pontosan a madarak repülési energiafogyasztása. Ha kissé megemelik a szélcsatorna végét, a törpepapagáj emelkedő repülésbe kezd. Növeli a szárnyain keletkező vonóerőt, miközben az emelőerő csaknem állandó marad (fent). Az ereszkedő repülésre a szélcsatorna lebillentésével veszik rá a madarat (lent)

nál fel, amikor 5 fokos lejtőszöggel süllyed. Tehát a madarak számára nem jelent „többletkiadást", ha emelkednek vagy süllyednek, sőt jobban tudják hasznosítani a szél energiáját.

Az elhasznált „tüzelőanyag" súlyát hasonlítva a repülő szerkezetekéhez, a mérések szerint ebben a versenyben a törpepapagájok jutnának az első helyre. Az ember készítette repülőgépek 36-szor több hajtóanyagot pazarolnak el, mint ez a csöppnyi szárnyas. 35 km/óra sebességgel repülve, a törpepapagáj a saját testszöveteiben tárolt tápanyagnak tekintélyes részét kénytelen hajtóenergiává alakítani. Nem csoda, ha óránként 1,1 százalékot veszít súlyából (ahogy a nehéz munka is „lefogyasztja" az embert). Ez persze nem azt jelenti, hogy ha a madár száz órát repül egyfolytában, semmi sem marad belőle. De kétségtelen, hogy költözés előtt a vándormadarak legalább kétszer olyan kövérek, mint általában. Ezzel az energiatartalékkal pihenés nélkül repülhetnek nyolc-tíz órát.

A „maratoni versenyben" fölényesen vezetnek a madarak a szárazföldi állatokkal szemben. A nagyobb madarak – mint például a vadkacsa – kitartóan repülnek 60–80 km/óra sebességgel. Noha az antilop, a strucc és a gepárd is eléri ezt a sebességet, nem tudja sokáig tartani. Arra pedig egyetlen szárazföldi állat sem képes, hogy megállás nélkül tegyen meg 1000–1500 km-t, mint a tenger felett vonuló vándormadarak. Ezt a káprázatos mutatványt minden évben, a létért való küzdelem ösztönös parancsának engedelmeskedve hajtják végre.

„A madarak meghódították a levegő óceánját" – milyen szép, költői kifejezés! Csakhogy nem egészen igaz! A rádióhullámokat visszaverő ionoszféra 80 km magasság felett kezdődik, s itt már nyoma sincs madaraknak. Hol van hódításuk felső határa? Nyilván a biológiai lehetőségek szabják ezt meg. A légtér-ellenőrző lokátorok rendszeresen jeleznek kószáló madárcsapatokat kb. hat kilométer magasságban. 1963-ban egy vigyázatlan vadkacsa ebben a magasságban találkozott össze egy száguldó repülőgéppel, s a pi-

lóta kivételes szerencséjére a vadkacsa húzta a rövidebbet; ugyanis az ilyen összeütközések a gép katasztrófájával szoktak végződni. 1953-ban pedig a világ legmagasabb hegycsúcsára kapaszkodó turistacsoport látott 7800 méter magasságban egy madarat.

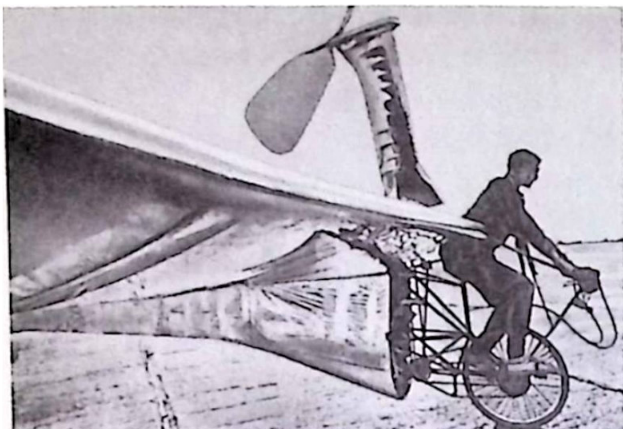
Hogyan lélegeznek a madarak ebben az oxigénszegény környezetben? Hogyan viselik el a nagy magasságok viszontagságos életfeltételeit? Az elmúlt évek során erre is választ kerestek a kutatók. Kísérleti laboratóriumban 6000 méter magasságnak megfelelő nyomást és 2 °C meleget hoztak létre. A vizsgálatra szánt házi veréb egy percre sem vesztette el játékos kedvét, holott a testére nehezedő légnyomás alig volt több mint a fele a megszokottnak. Teste felvette a környezet hőmérsékletét, oxigénfogyasztása pedig 2,2-szeresre nőtt a tengerszinten mért nyomáshoz képest. Összehasonlításképpen egeret is elhelyeztek a kamrában, s ez a kísérleti állat már nehezebben viselte el a megpróbáltatásokat. 3600 méter magasságnak megfelelő légnyomáson búskomorságba esett, 6000 méteren pedig félájult állapotba került. A házi veréb rá sem hederített minderre. Egy-egy lélegzetvétellel 74 százalékkal több oxigént „szivattyúzott be" tüdejének azokba a részeibe, ahol a keringő vér a legtöbb oxigént képes elnyelni. Ilyen magasságot tehát könnyen elérhetnek repülés közben a madarak.

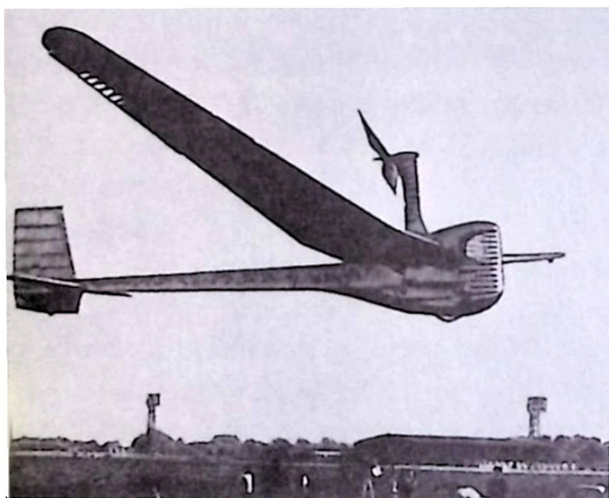
Maga a repülés is felgyorsítja az egész szervezet életritmusát – ez tűnt ki két kanadai kutató vizsgálataiból. Galambokon végzett méréseik szerint a percenkénti szívverések száma 166-ról 560-ra emelkedik. A légzésben még fantasztikusabb változás következik be: a percenkénti 26 nyugodt lélegzetvétel repülés közben 490-re ugrik. Ez a szám különösen érdekes! Régebbi mérések szerint ugyanis a galamb percenkénti szárnycsapásainak száma szintén 490.

A kanadai J. S. Hart és O. Z. Roy légzési vizsgálatai tehát igazolták azt a régi sejtést, hogy a madarak szárnycsapása „szinkronban" van a légzésükkel. Minthogy a repülőizmok a testsúly negyedrészét teszik ki, már régen felkeltette a gyanút ez az óriás „izommotor", amely a mellkas ütemes összenyomódását is elősegíti. Várható volt tehát ez az összhang. A törpepapagájokon végzett mérések viszont nem igazolták e szabály általános érvényét. Állandó repülési sebességen, 840/perc szárnycsapás közben, légzés ütemük 175 és 300 között ingadozik. Ez persze érthető is, ha arra gondolunk, hogy percenként 840-szer lélegezni már fizikailag is lehetetlen lenne. A gyors csapkodók tehát még nem tudnak, a kitűnő repülők pedig már nem is akarnak egy ütemben lélegezni. Ez a szinkronizálás nyilván a közepes szárnynagyságú madarak repülési izomteljesítményét fokozza.

Emberizmok, madársebességek

Ha az ember arra várt volna, hogy a madarak csapkodó repülését utánozva, saját izomerejével emelkedjék a levegőbe, ma is vágyakozva nézhetne a magasban suhanó madarak után. De századunk első évtizedeiben a repülőgép-szerkesztők még nem látták tisztán a szárnycsapások jelentőségét. Számtalan kísérleti gép látott napvilágot, amely eleve kudarcra volt ítélve. Később elhagyták a csapkodó szárnyat, de még bíztak az emberi izomerőben. A merev szárnyak szolgáltatták a felhajtóerőt, s csak a tolóerőt kellett egy légcsavarnak adnia, amelyet valamilyen szerkezeti áttétellel hajtott a pilóta. A harmincas években a legsikerültebb



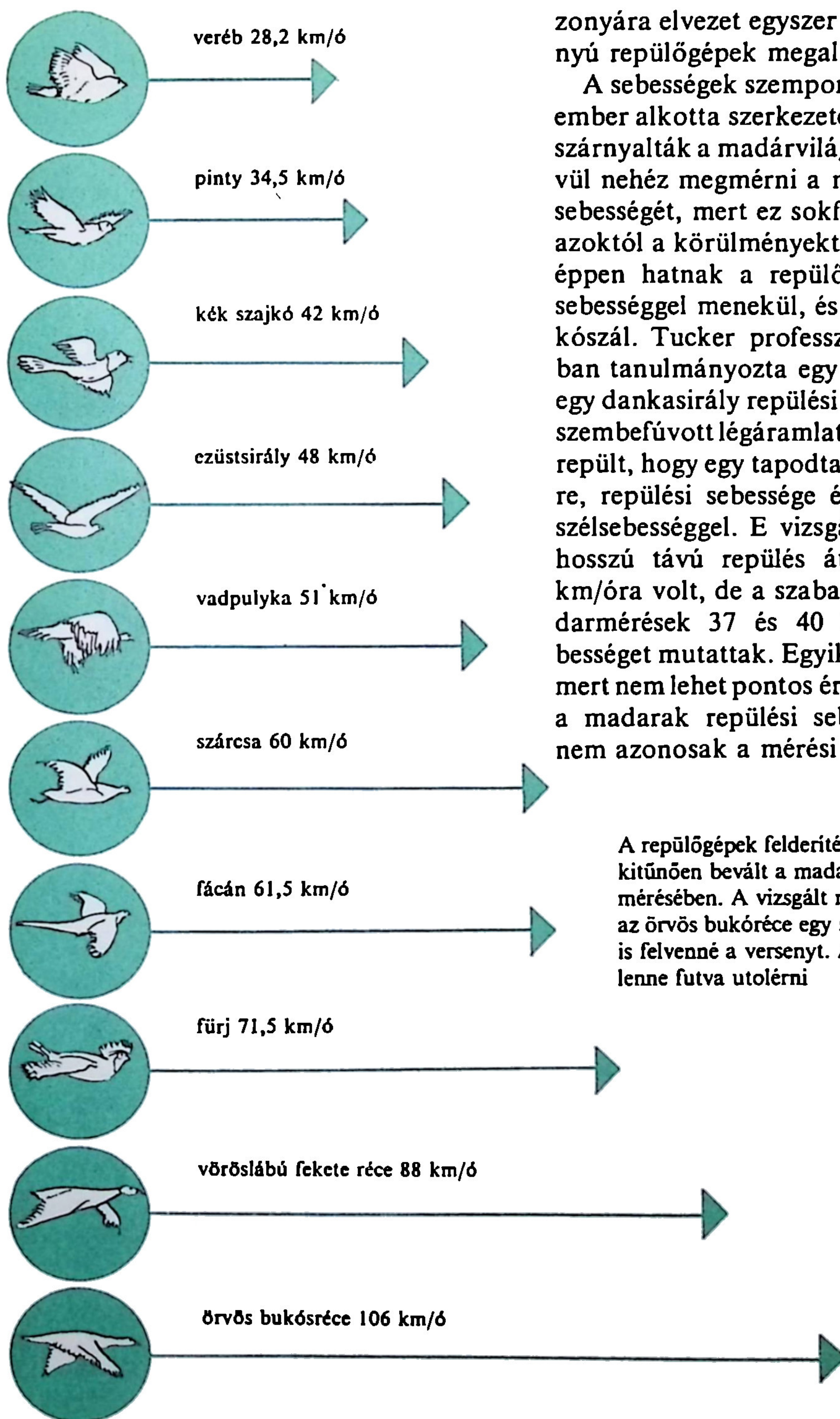


Bárki nyerhet tízezer angol fontot, akinek sikerül olyan repülőgépet készítenie, amelyet csak egy ember izomereje hajt. A legutóbbi kísérlet során John Potter pilóta 73 kg súlyú szerkezettel emelkedett a levegőbe (fent). A férfi voltaképpen egykerekű biciklit hajtott. Felszálláskor a kerék gyorsította fel a gépet, majd a levegőben megfelelő áttétellel a légcsavart forgatta a lábpedál (lent)

példány a Haessler–Willinger-féle gép volt. 712 méteres siklórepülés után azonban ájultan emelték ki a pilótát a gépből. Nem bírta tovább az iszonyatos erőkifejtést!

Ma már tudjuk, hogy az ember saját súlyához képest izomzatának aránya jóval kisebb, mint a madaraké. Így a tízezer font értékű tekintélyes díj, amelyet az angol Királyi Légügyi Társaság ítélt oda annak, aki emberhajtású repülőszerkezetével egy mérföldet (1605 métert) repül, és közben nyolcast ír le a levegőben, sokáig váratott nyertesére. A szívós feltalálók nem adták fel a reményt. 1972 márciusában az angol készítésű Jupiter repülőgép már 8 méter magasra emelkedett, és 1171 métert repült. 1977 januárjában Takasi Kato japán feltaláló izomhajtású gépe túlszárnyalta ezt a rekordot: 2093 métert repült, de az áhított nyolcast még nem sikerült lerajzolnia. A díj 1977 nyarán talált gazdára.

A madarak repülésének utánzásában mégis a másik út látszik járhatóbbnak, bár itt sem dicsekedhetnek a feltalálók. A csapkodó szárnyú mozgást utánozzák valamilyen motorhajtású szerkezettel, amelynek így nincs szüksége légcsavarra. Világszerte készültek már ilyen csapkodó szárnyú modellek. D. V. Oljin szovjet vadászpilóta például ornitopterrel („madárrepülőgéppel") kísérletezett, amely három lóerős motorjával a számítások szerint 100 km/óra sebességet érhetett volna el, de a gyakorlat nem igazolta az elméletet. Ha a közeljövőben ismét felröppen a hír valamilyen csapkodó szárnyú modellről, elég egy pillantást vetnünk a szárnyra, hogy eldöntsük, valóban repülhet-e egyáltalán. Ha a géptörzsből csak két rugalmas vagy merev szárny nyúlik ki, akárhogy lengenek is ezek, a gép nem fog repülni. A madárrepülés utánzásának ugyanis alapfeltétele, hogy a gépszárny „könyökben" megtörjön, mert a belső és a külső szárnytag csak így mozoghat egymástól függetlenül. 1958-ban például Hannoverban mutattak be egy sikeresnek látszó típust: a Schwann (Hattyú) szárnya valóban tört alakú volt. 100 lóerős benzinmotor szolgáltatta a szárnyak mozgatásához szükséges energiát, de azóta sem érkezett hír sikeres repüléséről. A remény viszont tovább él, s a madárrepülés még pontosabb megismerése bi-



zonyára elvezet egyszer a csapkodó szárnyú repülőgépek megalkotásához.

A sebességek szempontjából viszont az ember alkotta szerkezetek már régen túlszárnyalták a madárvilágot. Igaz, rendkívül nehéz megmérni a madarak repülési sebességét, mert ez sokféle tényezőtől és azoktól a körülményektől függ, amelyek éppen hatnak a repülő madárra. Más sebességgel menekül, és más sebességgel kószál. Tucker professzor szélcsatornában tanulmányozta egy törpepapagáj és egy dankasirály repülési sebességét. Ha a szembefúvott légáramlatban a madár úgy repült, hogy egy tapodtat sem haladt előre, repülési sebessége éppen egyezett a szélsebességgel. E vizsgálatok alapján a hosszú távú repülés átlagsebessége 45 km/óra volt, de a szabadban végzett radarmérések 37 és 40 km/óra átlagsebességet mutattak. Egyik adat sem hibás, mert nem lehet pontos értékkel jellemezni a madarak repülési sebességét, hacsak nem azonosak a mérési viszonyok.

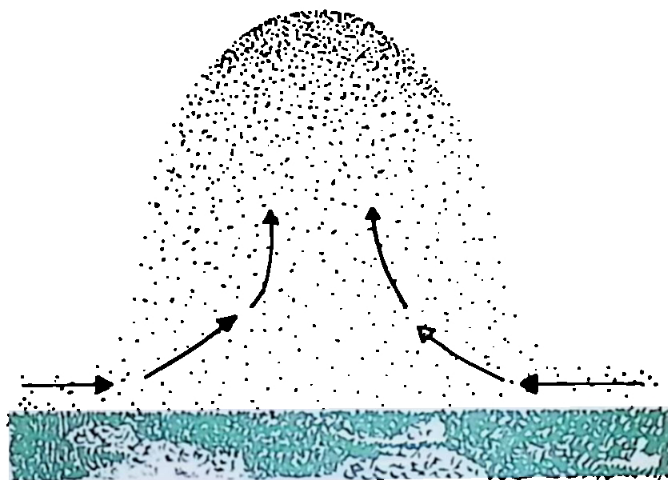
A repülőgépek felderítésére használt lokátor kitűnően bevált a madarak sebességének mérésében. A vizsgált madárfajok közül az örvös bukóréce egy száguldó gépkocsival is felvenné a versenyt. A verebet is nehéz lenne futva utolérni

Ebből a szempontból talán O. Dunning elektromérnök lokátoros sebességmérési módszere ígér megbízható eredményeket. Olyan radart szerkesztett, amely 9600 millió/mp-es rezgésszámú elektromágneses hullámokat sugároz, s a visszaverődő hullámokból állapítható meg, mekkora a madár sebessége. E mérés érdekes alapelve, hogy annál kisebb rezgésszámmal érkeznek vissza a sugarak a vevőantennába, minél gyorsabban repül a madár. Minthogy a radar antennája előtt engedik szabadon az állatot, távolodási sebessége egyenes vonalban mérhető. A kutató különféle madarakon végzett méréseket. A „versenyzők" közül az örvös bukóréce vitte el a pálmát 106 km-es óránkénti sebességével, a kormosfejű cinke viszont 27,4 km/órával utolsónak ért volna a célba, ha egyszerre rajtol valamennyi madár.

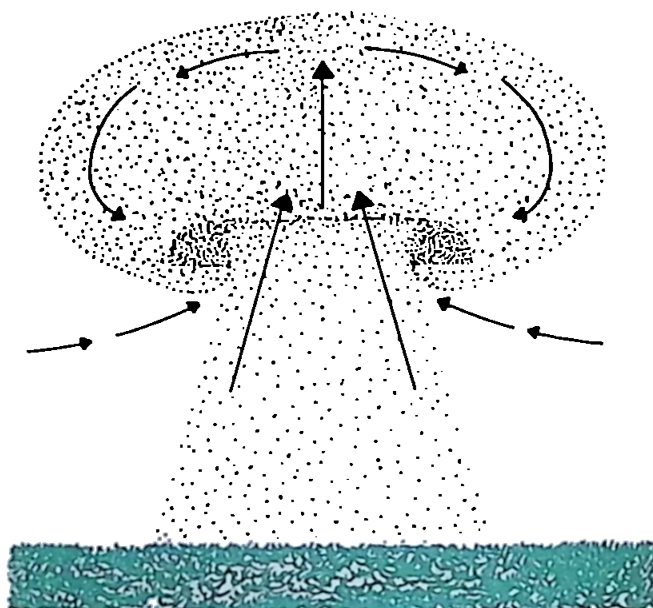
A kolibrik repülésének méréséhez C. H. Greenewalt természetes körülményeket igyekezett teremteni. Akkor mérte a sebességet, amikor a kolibrik az etető felé szállnak. Így kapta a hitelesnek tekinthető 43 km/óra sebességet, de feltételezése szerint szabadban való repüléskor e parányi madarak 48 km/óra sebességet is elérhetnek. J. H. Storer táblázata szerint a madárvilágban jelenleg a csúcstartó egy repülőgéppel követett sólyom: a műszerfal mutatója szerint 280–290 km/óra sebességgel száguldott.

Hullámvasút a levegőben

A lebegő madarak mindig csodálatot ébresztenek az emberben. Szinte hihetetlen, hogy egyetlen szárnycsapás nélkül órákig keringenek a magasban. Ez a különös képesség elsősorban a légköri áramlatoknak köszönhető, amelyek a vitorlázó repülőgépek pilótái előtt is jól ismertek. A motor nélküli repülés távolsági és ma-

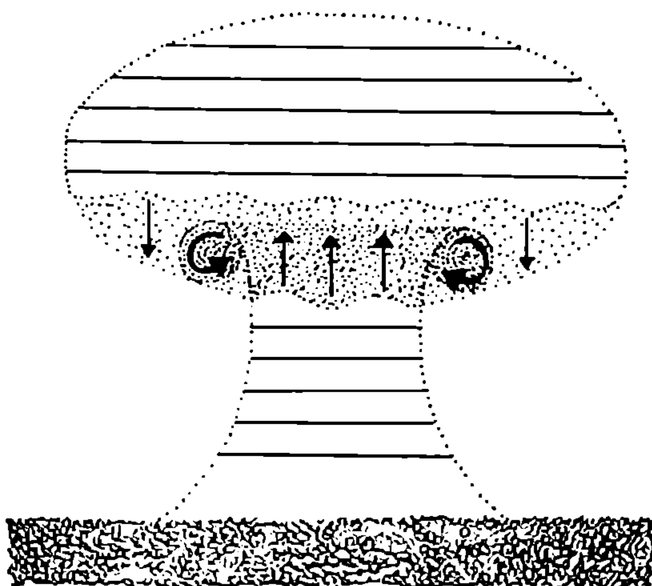


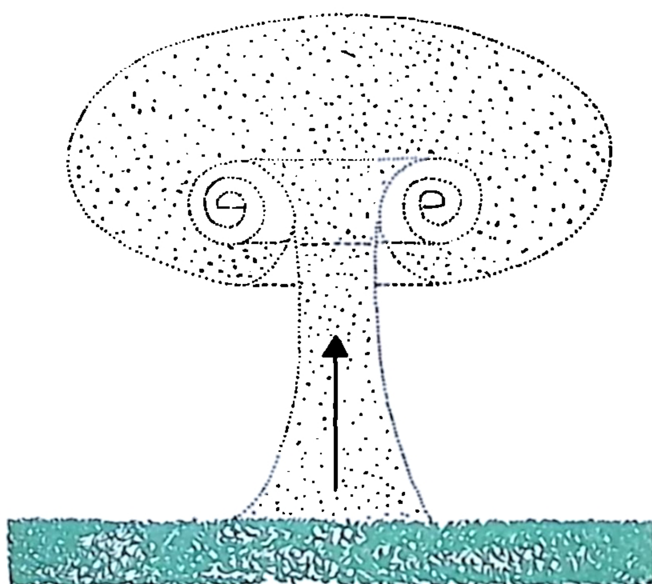
1

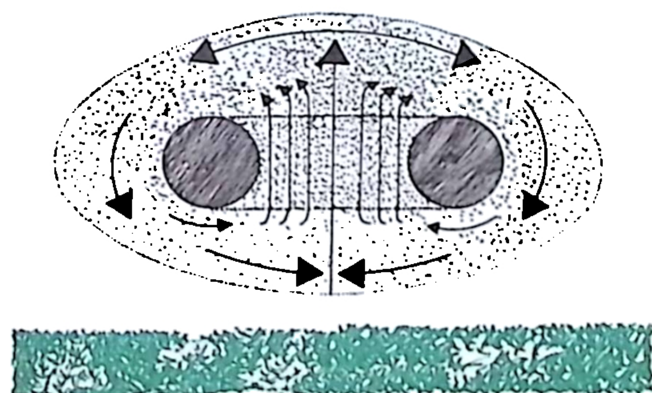


2

Egy láthatatlan termikgyűrű keletkezésének folyamata. A melegebb felületekről felszáll a levegő (1), és óriási buborékot alkot (2). A folyamatos lehűlés örvénylő mozgást idéz elő benne (3), miközben tovább érkezik a meleglevegő-utánpótlás. A buborék végül „becsavarodik" (4), és gyűrű képződik benne. Itt a levegő belülről kifelé áramlik (5). Ha a termikgyűrűben ugyanakkora sebességgel süllyed a madár, mint amekkora sebességgel a levegő emelkedik, távolról úgy látszik, mintha az élő repülőgép egy helyben körözne egyetlen szárnycsapás nélkül


3


4

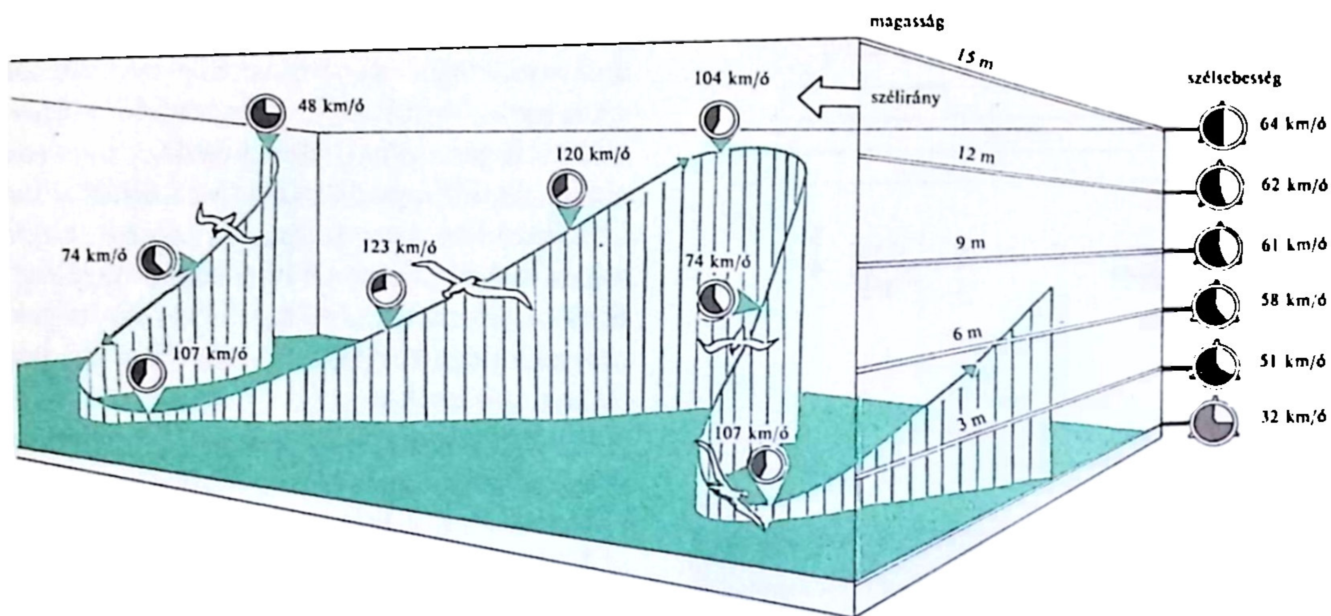

5

gassági rekordjai lényegében a felszálló légáramlatok ügyes kihasználása nyomán születnek. Amikor a tenger felől fúj a szél, a légáramlat beleütközik a partvonalba, és felcsapódva folytatja útját, de a szárazföldön egy nagyobb domb vagy lombos erdő is eltérítheti a légtömegeket. Ezek a felemelkedő áramlatok sodorják magukkal a kiterjesztett szárnyú, mozdulatlan madarakat.

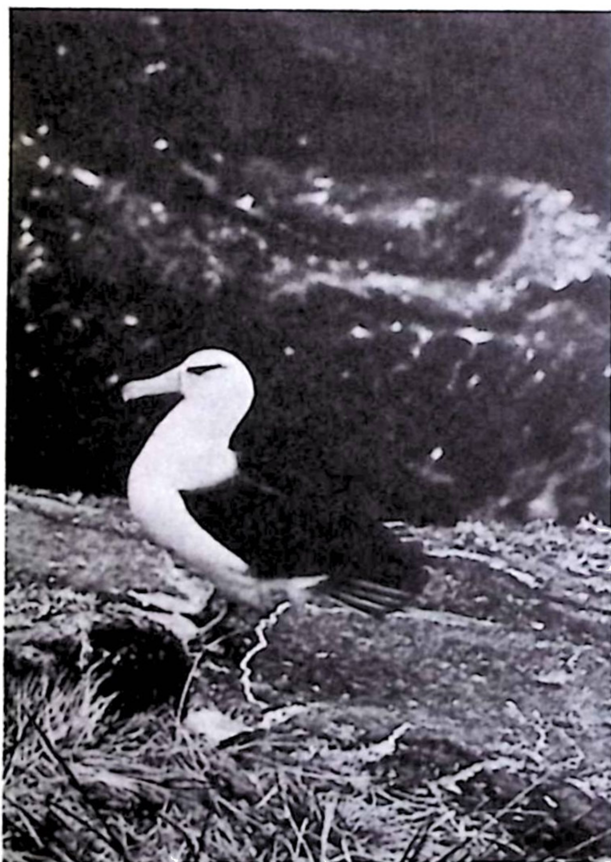
A legfurcsábbak azonban az önállóan felszálló meleg légtömegek, a termikek. Napsütésben a talaj egyenetlenül melegszik, így a levegő sem marad tétlen felette: minél több meleget kap, annál jobban kitágul, mind magasabbra emelkedik. Először csak óriás „levegőkémény" keletkezik, ezért a kutatók sokáig azt hitték, hogy a benne felfelé áramló levegő kéményhatása, a „huzat" emeli magasba az egy helyben keringő madarat. C. Cone amerikai kutató és munkatársai viszont legújabban kimutatták, hogy ilyenkor a felemelkedő meleg légtömeg elszakad a földtől, és olyan alakot vesz fel, mint egy hatalmas autógumi. A vízszintesen lebegő meleg gyűrű hideg levegőburkot visz magával, s ez szüntelenül körbeáramlik: a gyűrű belső felén felszáll, külső felén pedig leszáll. Az egész levegőgyűrű úgy emelkedik láthatatlanul gomolyogva, mintha egy fekvő óriás pöfékelő pipájából szállna fel.

Ebben a gyűrűben keringenek a madarak. Bár a siklórepülés következtében csavarvonal alakú pályájukon egyre lejjebb süllyednek, a földről mégis úgy tűnik, hogy egyetlen szárnycsapás nélkül emelkednek. A jelenségben nincs semmi titok: a légkarika gyorsabban száll felfelé, mint ahogy a madár siklik lefelé.

A tenger nagyszerű vitorlázó madarai, az albatroszok napokig is képesek leszállás nélkül lebegni az óceán felett. Csodálatra méltó képességüket W. Jameson



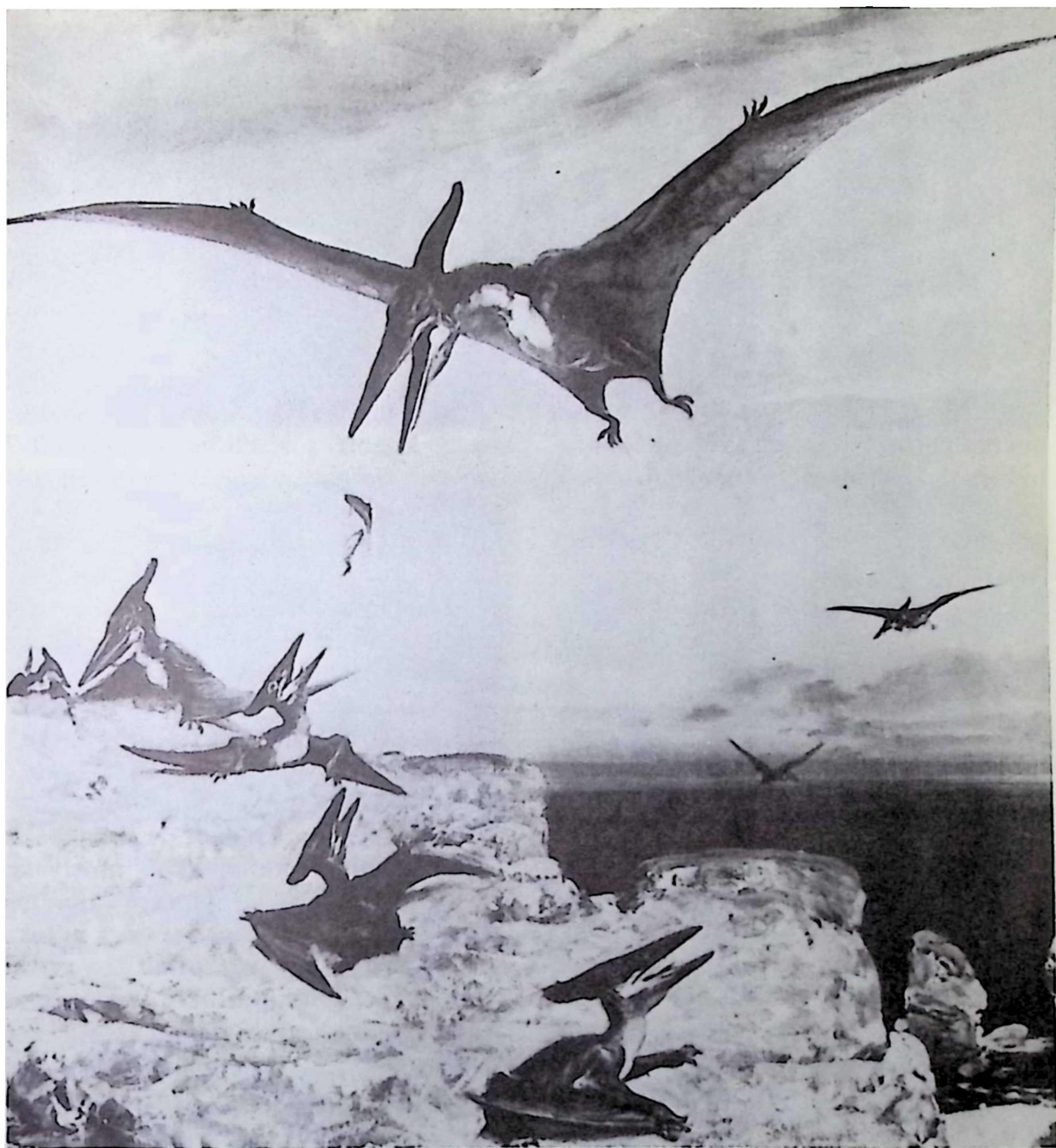
Ügyesen használja ki az albatrosz a tengeri széljárást. Valósággal hullámvasúton utazik, mert a vízfelszínről felemelkedve egyre sebesebb légáramlatok növelik mozgási energiáját. Ezzel a módszerrel órákon át kalandozhat a víz felett anélkül, hogy erőt pazarolna a repülésre



Ki sem nézné az ember ebből a madárból, hogy ha kiterjeszti szárnyait, két csúcsának távolsága csaknem eléri a 4 métert.
A hullámrepülés mestere, az albatrosz a parton piheni ki a tengeri repülést

vizsgálta behatóan, és érdekes törvényszerűséget állapított meg. Minthogy a tengeri szél egyre inkább lelassul a vízfelszín közelében a hullámok súrlódási ellenállása miatt, az albatrosz ezeket a sebességi „lépcsőfokokat" használja fel arra, hogy egyetlen felesleges mozdulat nélkül vitorlázzon a levegőben. Rendszerint hátszélben úszva, meredeken kezdi meg süllyedését, így mire a vízfelszín közelébe ér, siklási sebessége rendkívül megnő. Ezt a mozgási energiát használja fel, hogy a szélben oldalt fordulva megkezdje kisebb meredekségű „felfutását". Minél magasabbra ér, annál sebesebb légrétegekkel találkozik, amelyek „felkarolják"; ezzel a módszerrel tehát nemcsak magasabbra jut, hanem még sebességtöbbletre is szert tesz. Újból kezdheti játékát a láthatatlan hullámvasúton, amelyben az állandó tengeri légáramlás szolgáltatja a hajtóenergiát. Ugyanígy a hajósmadár is kitűnő érzékkel használja ki a légrétegek sebességkülönbségeit.

A legújabb vizsgálatok szerint már a földtörténet középkorában, mintegy 150



Riasztó látvány lehetett az óriási repülő őshüllő. A 8 méteres szárnyú Pteranodon a vitorlázórepülés legkiválóbb képviselője volt 150 millió évvel ezelőtt. Szerkezete mégsem lehetett tökéletes, mert a létfenntartásért folyó küzdelemben nem állta meg a helyét

millió évvel ezelőtt is létezett egy tökéletes vitorlázó repülőgép, a 8 méteres fesztávolságú Pteranodon. Kiváló siklórepülési képességei még ma is meglepőek. A repülő őshüllők csoportjába tartozó hosszú csőrű állatnak hártyavékony, rugalmas szárnya volt, így hihetetlenül könnyű szerkezetet alkotott. Cherrie D. Bramwell, az angol readingi egyetem munkatársnője néhány őslénytani lelet

alapján feltűnő hasonlóságot fedezett fel korunk „élettelen" és az ősvilág „élő" vitorlázógépe között. Az ötlet alapján elektronikus számítógépbe táplálta a leletek adatait, és az összehasonlító vizsgálatból kiderült, milyenek lehettek a Pteranodon repülési képességei. Minthogy átlagos súlya kb. 18 kg volt, 5,6 m^2-es szárnyának felületi terhelése alig haladta meg a fecskék súlyarányát. Lepedőnyi szárnyfelületével 24 km/óra sebességű enyhe szélben is a levegőbe lendülhetett. Ami a legutóbbi időkig rejtélyesnek tűnt, miként tudott fel- és leszállni, most megoldódott. Ezekkel a szárnyakkal akár a tenger hullámairól is felemelkedhetett a puhatestű állatokra vadászó ősvilági hüllő.

Ha felszálló légáramlatba került, szárnyát vízszintesen behajlította, így rugalmas bőrfelülete 4,3 m^2-re zsugorodott, ezzel felületi terhelése, tehát siklósebessége is megnőtt. Ilyen módon a mai tengeri madarakhoz hasonlóan a Pteranodon órákig körözhetett egyetlen szárnycsapás nélkül.

A Pteranodon már teljesen átállította szervezetét a repülésre: valójában nem volt változó hőmérsékletű, mint a hüllők, hanem melegvérű, s a legújabb leletek szerint szőr borította testét. De nem sokáig maradt ősvilági rekorder a szakemberek előtt, mert 1975-ben D. Lawson amerikai kutató újabb csontvázra bukkant Texasban. Ez a Pterosaurus valószínűleg dögevő volt, mert körülbelül egy méter hosszú állkapcsában fogakat találtak. Szárnyának fesztávolsága elérhette akár a 21 métert is.

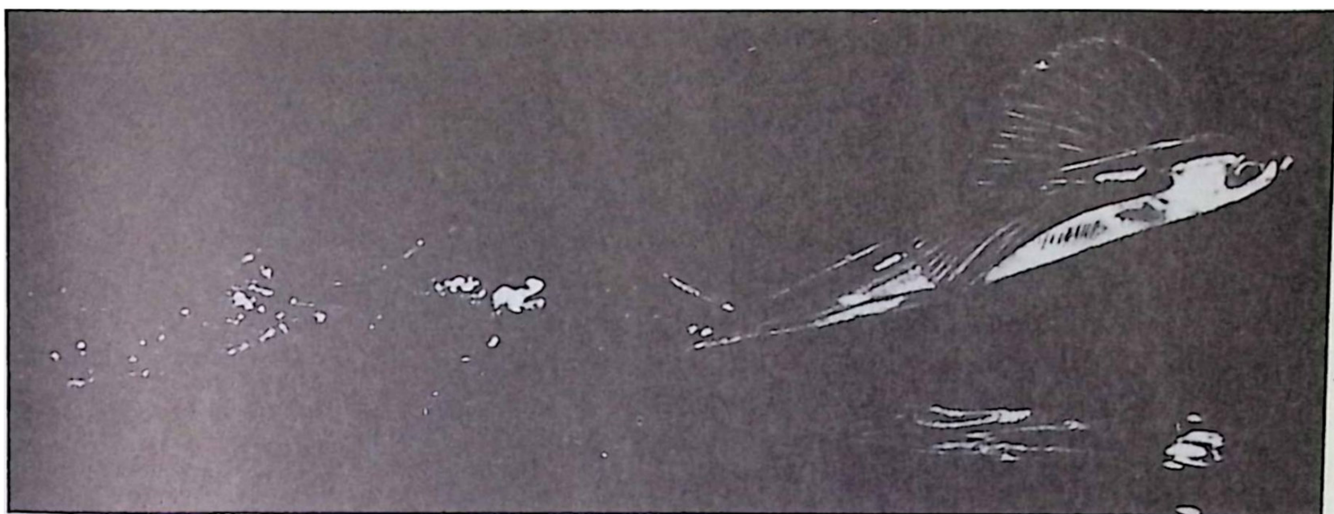
Még ma is rejtély, miért haltak ki ezek az őshüllők százmillió évvel ezelőtt. A törzsfejlődés folyamán a madaraknak sikerült újból a levegőbe emelkedniük, s ezzel a levegőben is véglegesen tért hódított az állatvilág.

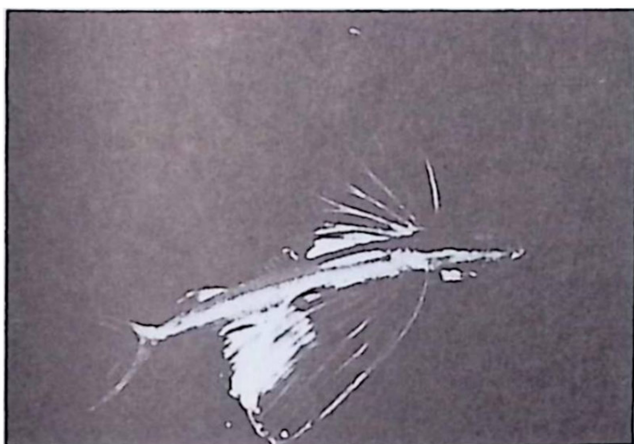
Repül a... repül a... hal

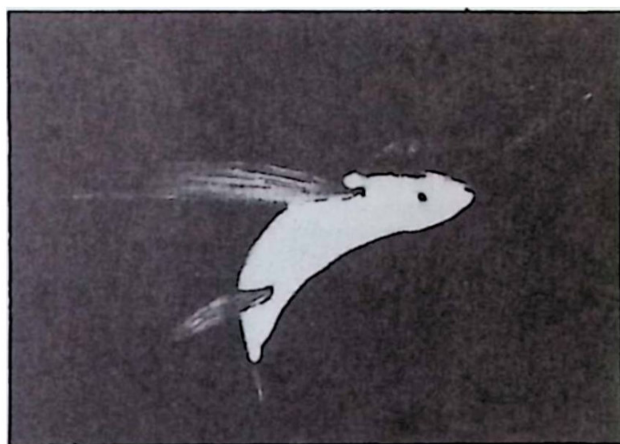
A repülés lehetőségének keresése léptennyomon kíséri az állatvilág fejlődését. A sikertelen „kísérleti példányok" ejtőernyő-ugrással siklanak át kis távolságokon valamilyen kifeszíthető bőrlebenynyel. Különös látvány például a Borneón és Jáván élő repülőbéka, amely a lábujjai között feszülő bőrredőkkel 30–35 méter távolságot repül, vagy az apró „repülő sárkány", a repülőgyík, amely 18 m-es légihidakon közlekedik. Az emlősök között a repülőmaki már 60–70 méter távolságba lendül, de a rekordot mégis a repülőmókus tartja, amely sikló repülésével állítólag 80 méter távolságot ível át. Ez egyébként nem jellemző érték, mert a repülőmókusok általában 30–40 méter távolságba ugranak a mellső és hátsó lábak között kifeszített bőrredőjükkel.

A „kísérleti repülők" közül a 15–25 cm hosszúságú repülőhalak a legfurcsábbak. A vízből kiszökkenve akár 200–400 métert is szállhatnak, és gyakran hullanak a Földközi-tengeren haladó hajók fedélzetére. E különös állatokról, amelyeken a melluszony siklórepülésre alkalmas szárnnyá fejlődött, régebben azt hitték a kutatók, hogy úgy pattannak ki a vízből, mint egy tengeralattjáróból függőlegesen kilőtt rakéta. V. V. Sulejkin szovjet professzor vizsgálatai azonban bebizonyították, hogy a repülőhal nem képes erre. A laboratóriumi felvételek tanúsága szerint ugrás előtt a vízfelszínen úszik, és egyre kisebb vízgyűrűk jelzik körülötte, hogy fokozatosan szakad el a víztől.

Amikor a repülőhal kb. 30 km/óra sebességet ér el, testének jellegzetes kiemelkedő élére – a „siklólépcsőre" – támaszkodik a vízfelszínen. Ilyenkor már úgy halad, hogy csak a farka csapkod eszeveszett csavar módjára, majd abban a pillanatban lendül a magasba, amikor







Régen azt hitték, hogy a repülőhal a melluszonyaival csapkodva emelkedik a levegőbe. A laboratóriumi kísérletek ma már bebizonyították, hogy farokcsapásaival gyorsítja fel magát, miközben kiemelkedik a vízből. A kezdősebesség elérése után nagy felületű melluszonyain siklik apró vitorlázórepülő módjára a levegőben. Közben „szárnyai" erősen rezegnek, innen ered a tévhit

másodpercenként 18 méteres sebességet ér el. Szédítő száguldás! Ezzel a 65 km/óra sebességgel hirtelen 0,5–5 méter magasba siklik, kb. 10 fokos szögben emelkedve a vízfelszínhez képest.

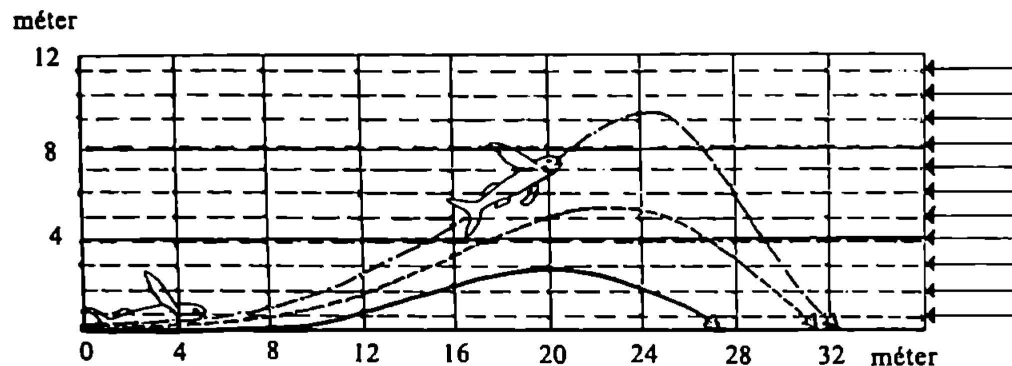
És még egy meglepő megfigyelés. Amikor lélegzetállító küzdelmében, rendszerint egy aranymakréla elől menekülve, ismét a vízfelszínre száll, csak a farkát dugja a vízbe. Rendkívül sebes farokrezegtetéssel újból felgyorsítja magát, így annyi felhajtóerő keletkezik szárnyuszonyain, hogy újból a levegőbe lendülhet. Menekülés közben ezt a trükköt háromnégyszer is alkalmazza, s akár egy tó tükrén elhajított lapos kavics, többször felpattanva repül végig a csillogó vízfelszín fölött.

Hogy milyen messzire jut el a repülőhal, sok mindentől függ. Minél hullámosabb a vízfelszín, annál nehezebben tudja elérni a kezdősebességet, mert a „felszállópályán" többször is vízbe merül a teste. A megnövekvő közegellenállás így visszafogja száguldásában. Az sem mindegy, hogy mekkora a szél sebessége a víz felett. H. Hertel professzor ezzel kapcsolatban érdekes számításokat végzett. Ter-

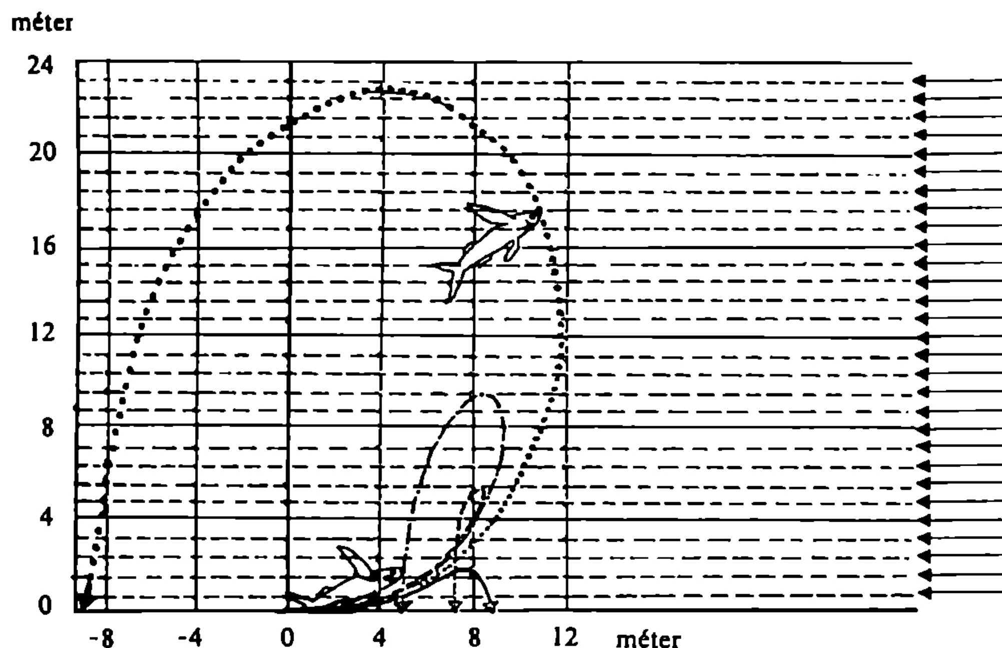
GYENGE SZÉLBEN



ERŐSEBB SZÉLBEN

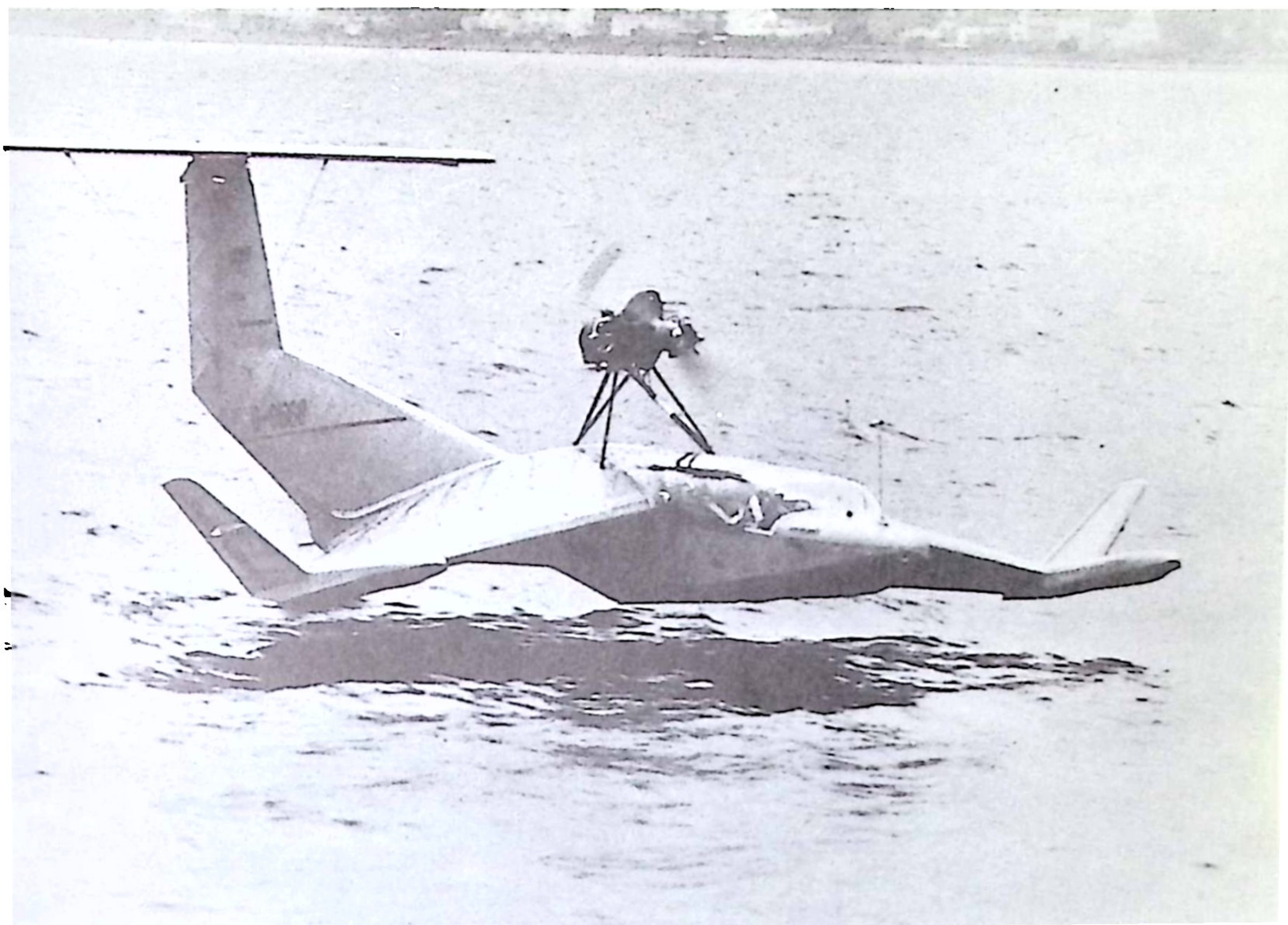


NAGY SZÉLBEN



A vízi világ furcsa akrobatái a repülőhalak, amelyek időnként a levegőbe emelkedve menekülnek üldözőik elől. A hal siklási pályája a repülési kezdősebességtől és az ellenszél erősségétől függ. A fizikai tényezők alapján kiszámított pályák a valóságban kissé módosulnak, mert a hal szárnyán is változik az emelőerő. Jobb oldalt a nyilak sűrűsége a szélerőt jelzi

mészetesen minél gyengébben fúj az ellenszél, annál messzebb érhet újra vizet a repülőhal. Bizonyos szélerősségen túl az is előfordulhat, hogy a hal hátrafelé repül, mert a szél könnyű falevélhez hasonlóan elsodorja. A valóságban persze az a valószínűbb, hogy ilyenkor már meg sem próbálkozik a repüléssel halunk, hiszen nem sokkal jutna távolabb kiindulási pontjától, feleslegesen pazarolná energiáját, ahogyan erős szélben a rovarok sem szállnak fel.



A legújabb kétéltű jármű még nem rendelkezik olyan képességekkel, mint a repülőhalak. Csak a vízfelszínen úszik, de légcsavarját felgyorsítva a levegőbe emelkedhet. A műanyagból készült „csónakrepülő" közvetlenül a vízfelszín felett száll, és óránként 100 km-es sebességet érhet el

A technika világában csak néhány éve jelentek meg a repülőhalat utánzó, vízből kiemelkedő járművek. A legsikeresebb kísérleti példány Donald Rein elektromérnök nevéhez fűződik. A 7 méter hosszú, deltaszárnyú repülőgépre emlékeztető szerkezet 65 lóerős motorja nemcsak a víz alatti haladást teszi lehetővé, hanem a torlósugárhajtású motorok elvén a repüléshez is elegendő tolóerőt termel. A gép pontosan úgy emelkedik ki a vízből, mint a repülőhal. Bizonyos felszíni sebességen lábkormánnyal vezérelt talp ereszkedik ki az aljából, ezen a „siklólépcsőn" gyorsul fel annyira, hogy a szárnyain keletkező felhajtóerő valósággal feltépi a tapadó vízfelszínről. A különös járműről 1969-ben érkeztek az első hírek, de azóta sem tudjuk, sikerült-e tökéletesíteni. Valószínűleg megmaradt alig használható kísérleti példánynak, amely ismét azt bizonyítja, hogy a mérnököknek van még mit tanulniuk a természettől.



Hosszú út vezetett a fényérzékeny sejtektől a bonyolult szemekig az állatvilág törzsfejlődésében. De volt rá idő – néhány milliárd év. Így tett szert kitűnő látásra az alkonyi vadászatairól nevezetes bagoly is

SZEMTŐL SZEMBEN A FÉNNYEL

Johannes Kepler, a neves német csillagász fáradtan üldögélt sátrában. Odakinn perzselve sütött a nap, de a sátor fülledt félhomályában tenyérnyi világos folt táncolt a falon: szemközt egy apró résen át szökött be a fény. A csillagvizsgálóban töltött hosszú éjszakák után jólesett ez a kis kikapcsolódás itt a szabadban, ahol most a földmérőkkel együtt dolgozott; a földmérés módszerei ugyanis szoros rokonságban vannak a csillagászati mérésekkel. Kepler tűnődve nézte a fényfoltot, s egyszer csak furcsa dolgot vett észre. Két parányi alak sétált végig a szélén – fejjel lefelé. A fény különös játéka meglepte a csillagászt, de azonnal sejtette a magyarázatot. Minthogy a sugarak egyenes vonalban terjednek, a sátorponyva apró nyílása elvileg egyetlen pontba „markolta össze" a fénysugarakat, az alulról érkezőket felfelé, a felülről jövőket lefelé terelte, s így került a fordított kép a túlsó falra.

Talán ekkor ismerkedett meg Kepler a „camera obscura" (a sötétkamra) elvével, de az is lehet, hogy Alhazen könyvében olvasott róla. A nagy arab tudós ugyanis *Az optika törvényei* című összefoglaló művében már a X. század táján ismertette a sötétkamra szerkezetét. Annyi bizonyos, hogy Kepler meglepően pontos tájképeket rajzolt a külvilág fordítottan beszűrődő, éles körvonalai alapján sátrának camera obscurájában.

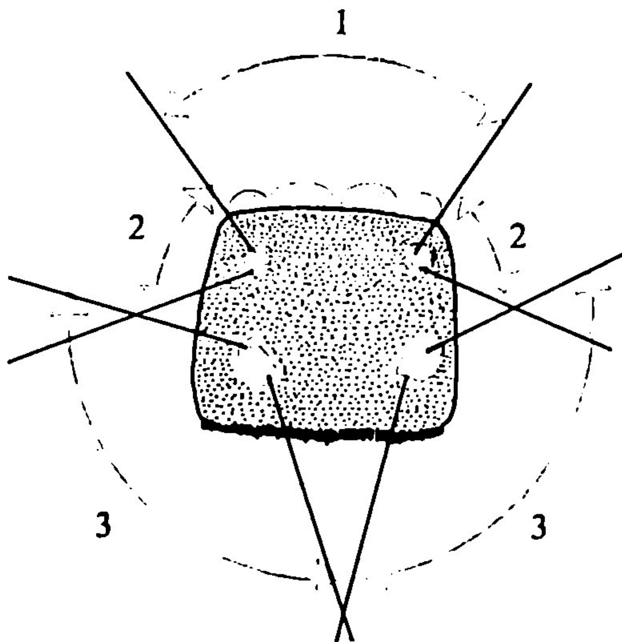
Fény és élet szorosan összefonódott az állatvilág fejlődése folyamán. Nem csoda, hogy az élő fénymérő és fényképező műszerek között a camera obscura is felbukkant. De nem tett szert nagy népszerűségre, egyedül a csigáspolip (Nautilus) ragaszkodik hozzá még napjainkban is. Az állatok azonban lehetőleg minél zártabb burkolatot igyekeztek kialakítani testük körül a külvilággal szemben. A puhatestűek áttetsző kristályszemcsével zárták le parányi sötétkamrájukat, s ez megteremtette a szem további fejlődésének lehetőségét.

Ezek a merev lencsés szerkezetek – a pontszemek – voltaképpen átmenetet alkotnak a fénymérő és az egyszerű fényképezőgép között. A fénymérő csak azt jelzi, milyen erősen veri vissza egy tárgy a napsugarakat; a fényképezőgép viszont már képet rajzol a fényárnyalatok alapján. Minél több fényérzékelő idegsejt sorakozik az állat pontszemében az áttetsző lencse mögött, annál több részletre bontható a környezet képe. A törzsfejlődés folyamán így a külvilág homályos képfoltja egyre több részlettel gazdagodik, s a fénymérő lassan fényképezőgéppé, pontosabban: televíziós kamerává változik.

Ha valaki több ezer fénymérőt rakna egymás mellé, és sorban leolvasná a műszermutatók állását, majd az értékeknek megfelelő árnyalatú szürke pontokat egymás mellé festené, ezekből az elemekből is összeállna valamiféle homályos, durva kép. A természetben ennek az ötletnek a megvalósítására is akad példa. Amerika csendes-óceáni partvidékeinek lakója, a „kékszemű" kagyló első pillan-



Megpecsételődött a légy sorsa! A szőrös ugrópók villámgyors mozdulattal vetette rá magát. A pontos tájolásban nagy segítségére van nyolc szeme is, amelyek közül legalább néggyel veszi szemügyre áldozatát

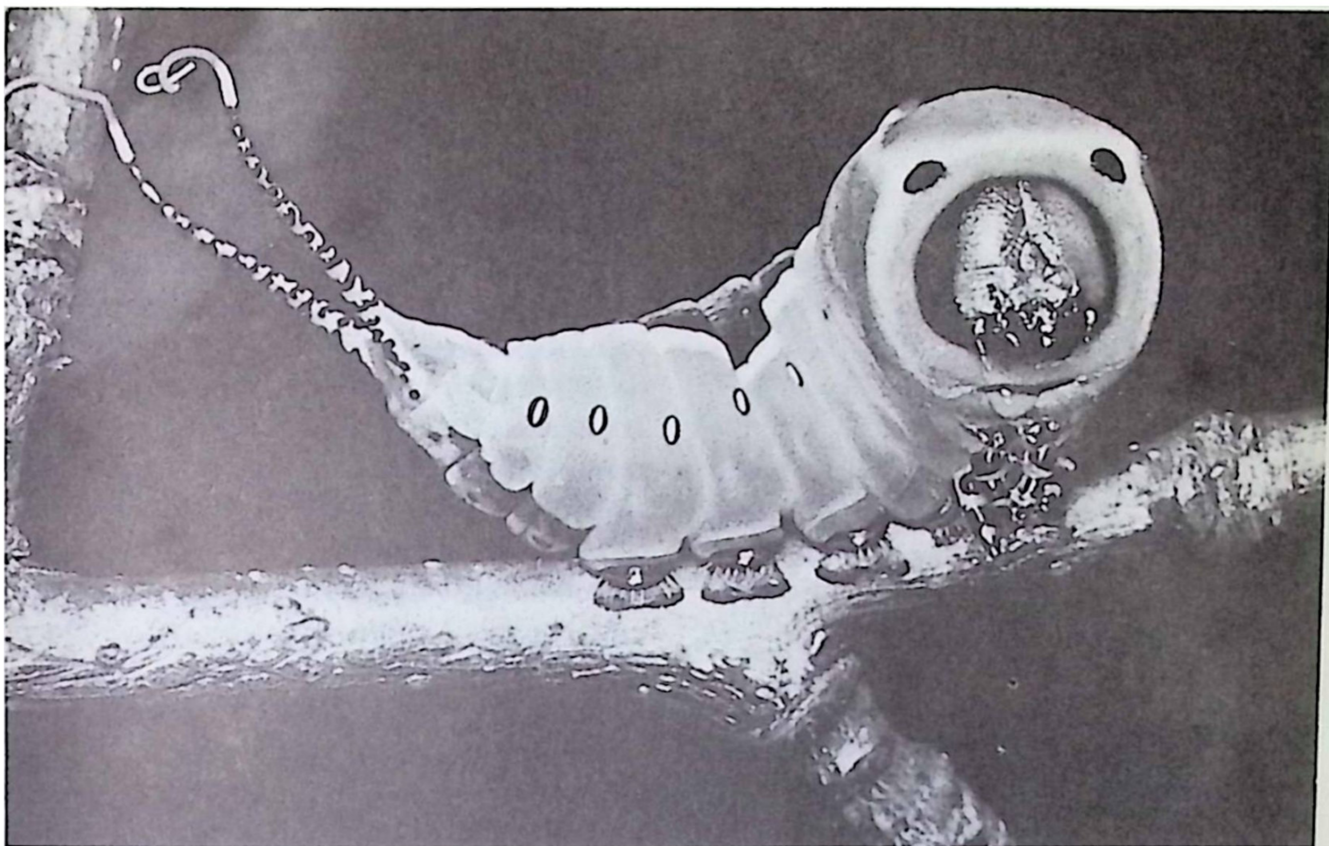


Nyolc szemmel néz zsákmány után a hálótlan ugrópók. Fejtetői szemeivel valószínűleg a távoli tárgyakat veszi szemügyre (1). Két homlokszemével előre- és oldalt pillantva, háromdimenziós látással rendelkezik (2). Nagy látószögű melléklencséi pedig egyszerre nagy terület áttekintésére nyújtanak lehetőséget (3)

tásra valamilyen ünnepre siető puhatestűnek látszik, mert teknőjéből kibújtatott testén pontszemek gyöngysora csillog. A fésűkagyló már több száz pontszemmel figyeli a víz alatti tájat, néhány páncélos, henger alakú tengeri puhatestűn pedig akár 12 000 pontszemet is megszámolhat a türelmes biológus. De ezek a parányi szemek nem összevissza, hanem határozott sorrendben helyezkednek el, és mindegyikükből egy-egy látóidegsejt nyúlik a kagyló puha testébe a páncélon át.

Nem lett volna sok értelme tovább szaporítani a parányi kamerák számát. A Copilia nevű tengeri rákfaj ezért már új szerkezetet kísérletezett ki. Mindössze két pontszemet használ, amelyek az autó fényszórójához hasonlóan helyezkednek el páncéljának két oldalán, a lencsékkel bevetített képet pedig egy-egy, izmokkal mozgatható látóidegsejt „tapogatja le". Íme, a tv-kamera primitív őse! Az idegsejt éppúgy pásztázza végig a képet, ahogyan a tv-kamerában pontról pontra szalad végig az elektronsugár. Csakhogy a Copilia lényegesen rosszabb képet lát: szemlencséje tökéletlen, és letapogatási sebessége is kicsiny.

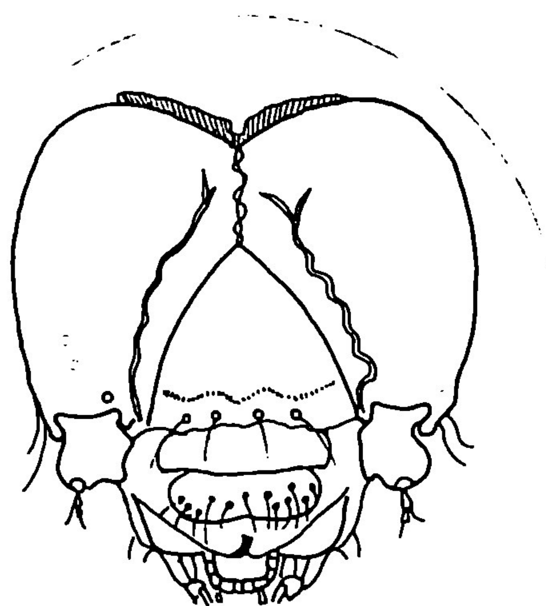
Az ízelt lábú állatok pontszemei közül leginkább a pókok szeme ad okot sok fejtörésre. Több mint húsz családjuk közül négyben csak hatszemű egyedek találhatók, míg a többi családban az állaton mindig nyolc szemet találunk. Ezek az apró periszkópok annyira különféleképpen helyezkedhetnek el az állat testén, hogy „feltérképezésük" alapján tudtak a biológusok rendet teremteni legkönnyebben a pókok népes osztályában. Általában a szemek közül négy felfelé, kettő oldalt, kettő pedig előre vagy inkább lefelé néz. Hogyan látja így a pók a világot? Nehéz elképzelni! Talán parányi központi idegdúcában egyesülnek a részletek egyetlen



Mintha farsangi bálra készülne a nagy púpos szövőlepke hernyója. Színes „álarcán" a két csalóka fekete pontot véljük szemnek, pedig ahogy azt a rajzunk mutatja öt-öt pontszeme kétoldalt a fekete sávban található

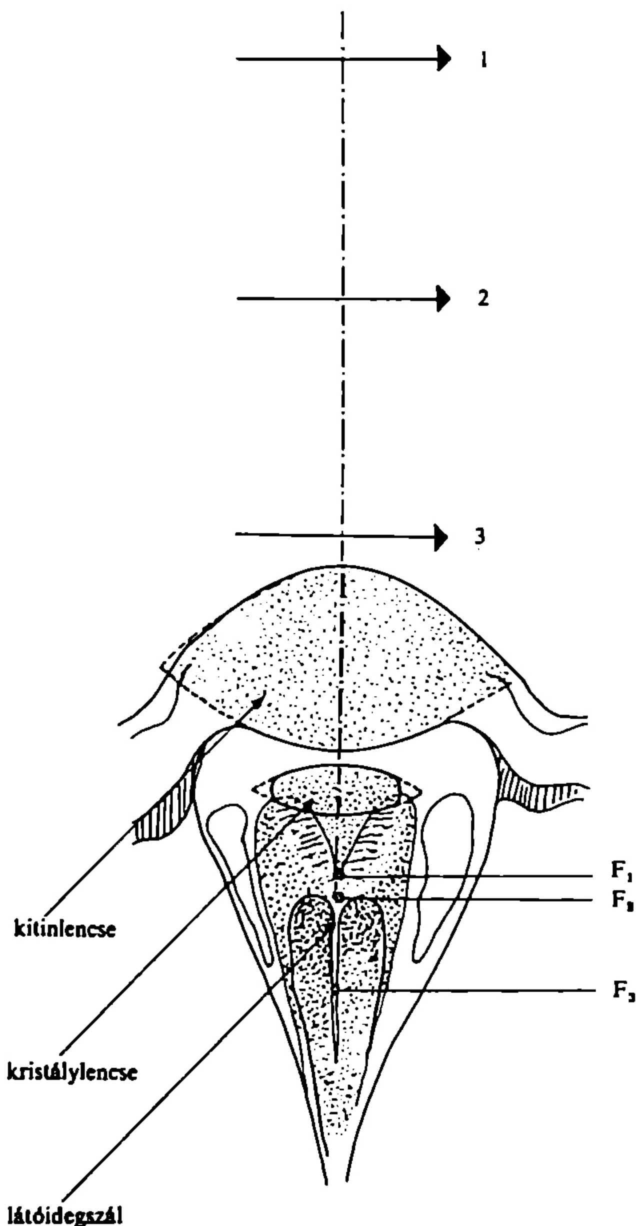
„körképpé". De erről nem sokat tudunk. A jó látás valószínűleg csak a háló nélkül vadászó pók számára fontos, mert amelyik a hálóban várja a jó szerencsét, inkább finom tapintásában bízik, a háló apró rezdüléseit figyelve.

Minthogy a szemlencsék a kemény kitinburkolatból alakultak ki, a pók minden vedléskor a szemét is eldobja. A nyolc lencse valószínűleg csak arra kell neki, hogy időnként kitekintsen valamelyiken, mint a kíváncsi utas a repülőgép egyik kerek ablakán. Minthogy nem tudja tologatni szemlencséjét, úgy kap éles képet a közeli tárgyakról, hogy fényérző ideghártyáját mozdítja hátrább a lencse mögött. Az ugrópókfajok ennek ellenére kitűnő látásról tesznek tanúságot. Ha óva-



Csak dísznek látszik a pontszemek sora a hernyó fejének két oldalán. Pedig ezek a kettős lencsék nem is a legrosszabb képet szolgáltatják.

tosan mászik a pók az asztalon, jól megfigyelhető, hogy egyes szemei sötét színűek, mások viszont fehérek. Egy érdekes elmélet szerint sötét (tehát fényelnyelő) szemeit nappal, világos (tehát fénysokszorozó) szemeit viszont szürkületben használja. Ha áldozata felé lopakodik, szemében villogva változnak a színek. L. H. Matthews angol kutató szerint valószínűleg ilyenkor állítja élesre ideghártyáján a gyanútlan áldozat képét. Általában 20–25 cm-ről veszi észre a zsákmányt, és 8–10 cm-ről egyetlen ugrással kapja el.



Az Isia isabella hernyójának szemében a függőleges látóidegszál mentén jelennek meg a képek. Bizonyos távolsághatáron belül így mindent élesen lát, mint az olcsó „doboz"-fényképezőgépek. Az 1-es tárgy helyét F_1-ben látja és így tovább

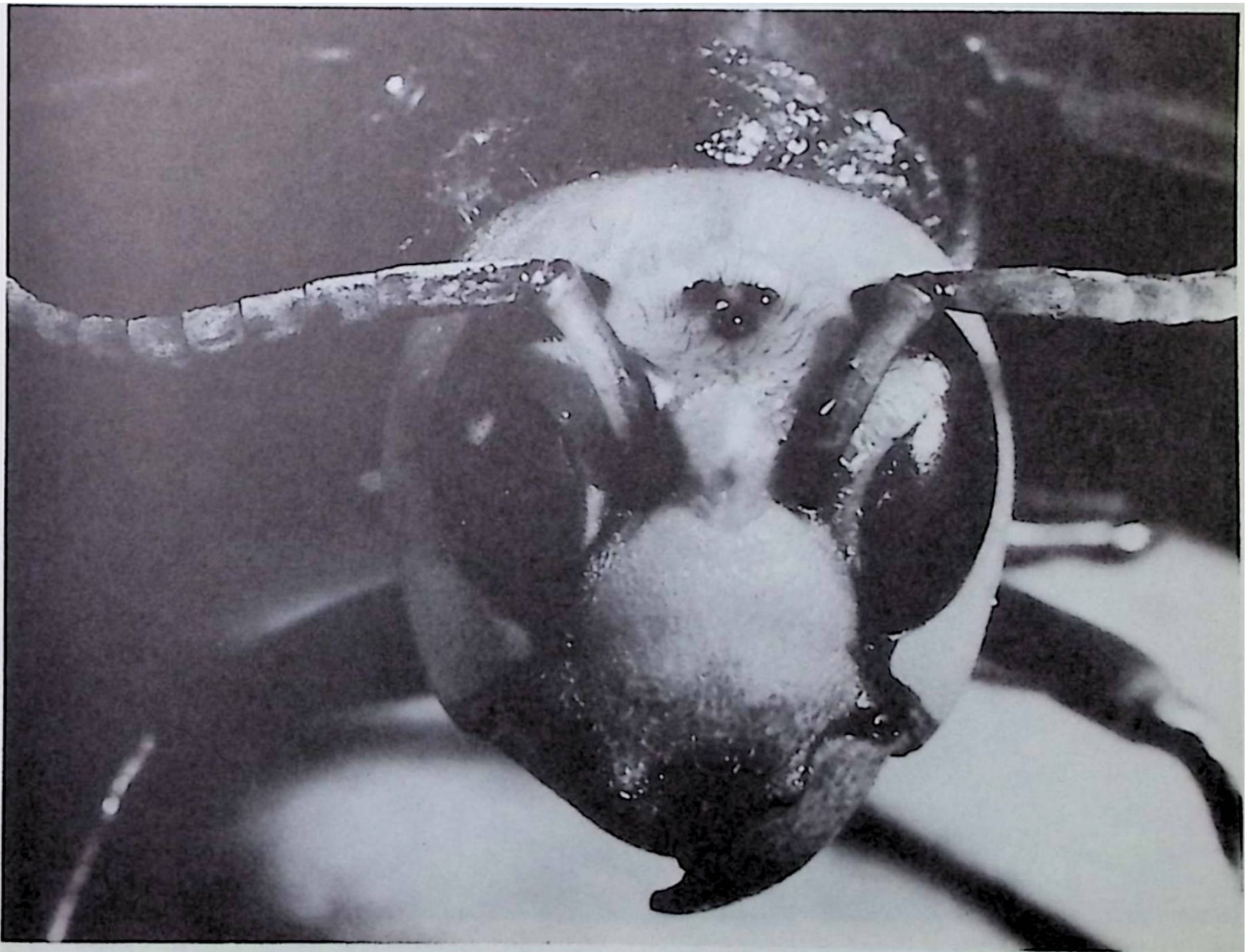
Amikor a lepkék a természet nagy körforgásában bogár alakból hernyóként kelnek új életre, úgy járnak, mint amikor valakitől elveszik értékes fényképezőgépét, és egy boxkamerát adnak helyette. Az összetett szemű rovar néhány pontszemet kap cserébe. A hernyó vaksi pillantással néz körül, s főként azért nem lát élesen, mert kevés fényérző sejt sorakozik szemlencséje mögött. Maguk a lencsék ugyanis meglepően jó optikai tulajdonságúak, amint azt V. G. Dethier amerikai kutató megmérte. Az Isia isabella nevű lepke hernyójának hat pontszemét átlagosan 14 dioptriásnak találta. Noha ezek a szemlencsék sem mozgathatók, mégis van lehetőség távolsági életlenségük kiküszöbölésére: a fényérző idegsejthártya tölcsérszerűen helyezkedik el, így a hernyó bizonyos távolságon belül aránylag mindent élesen láthat.

Az viszont még ma is homályos a kutatók előtt, miért őriznek meg három pontszemet a homlokukon a kifejlett rovarok. Egy-egy homlokszem olyan fényképezőgépre hasonlít, amelybe véletlenül két negatívot fűzött a szórakozott fotós. A merev kitinlencse mögött két látósejt réteg húzódik egymás alatt, így a távoli tárgyakról a lencséhez közelebbi, a közeli tárgyakról viszont a lencsétől távolabbi rétegen keletkezik éles kép. Feltételezhető, hogy a szitakötők például élesen is látnak velük, de a többi rovar valószínűleg csak a fényerősség meghatározására használja pontszemeit, ahogyan a jó fotós is fénymérőt visz magával fényképezőgépe mellett.

Ennek bizonyítására néhány türelmes kutató méhek és dongók pontszemének

látóidegsejtjeiből elvezette azokat a parányi villamos feszültségeket, amelyek a fényerősség változásainak hatására keletkeznek. A mérésekből kitűnt, hogy a pontszem valóban finom fénymérő műszer. Egy méter távolságból már azt a kis fényerőkülönbséget is észreveszi, ha egy vakító 40 wattos villanykörte mellé égő gyertyát tesznek. A szabadban végzett kísérletek szerint az égbolt fényerősségétől függ az is, hogy a méhek hajnalban mikor indulnak gyűjtőútra, és alkonyatkor mikor térnek haza. Erre gondolva néhány kísérleti méhnek leragasztották egy pontszemét. Ezek a méhek „elaludtak", és csak később indultak munkába, este viszont ugyanennyivel korábban tértek vissza. Ha két pontszemüket takarták le, akkor keltek útra, ha a reggeli fény 3,3-szer volt erősebb a megszokottnál.

A fénymérő pontszem tökéletes összhangban működik valamilyen titokzatos belső órával is. Minél távolabbi réten gyűjtögetnek a méhek, annál korábban indulnak haza este a kaptárba. Mintha fénymérőjük azt is jelezné, mennyivel világosabb időben kell útra kelniük, hogy ugyanolyan félhomályban érjenek vissza a kaptárba, mint amilyen reggel volt induláskor az ég.



A lódarázs fején a két csápostor között jól megfigyelhető a három pontszem. A törzsfejlődés során mindegyik állatfaj annyi szemre tett szert, amennyire szüksége volt az életben maradáshoz. A rovarok pontszemei többek között a fényerősség mérésére is alkalmasak

Vízbe ejtett üveggolyók

Ha valaki nyitott szemmel merül az uszoda vizébe, furcsa látványban lesz része. Nemcsak gazdátlan kezek és lábak tűnnek fel előtte, hanem minden távolibbnak és kisebbnek is látszik a valóságosnál, ráadásul az egész kép meglehetősen homályos. A fénysugarak játéka alaposan megtréfálja az embert, reménytelenül távollátóvá válik a víz alatt! Ha kicsinyítő szemüveggel nézünk szét szobánkban, ugyanezt láthatjuk „szárazon" is.

A nagyapa távol tartja az újságot a szemétől, máskülönben nem látja jól az apró betűket. Ő is távollátó. De ha fel-

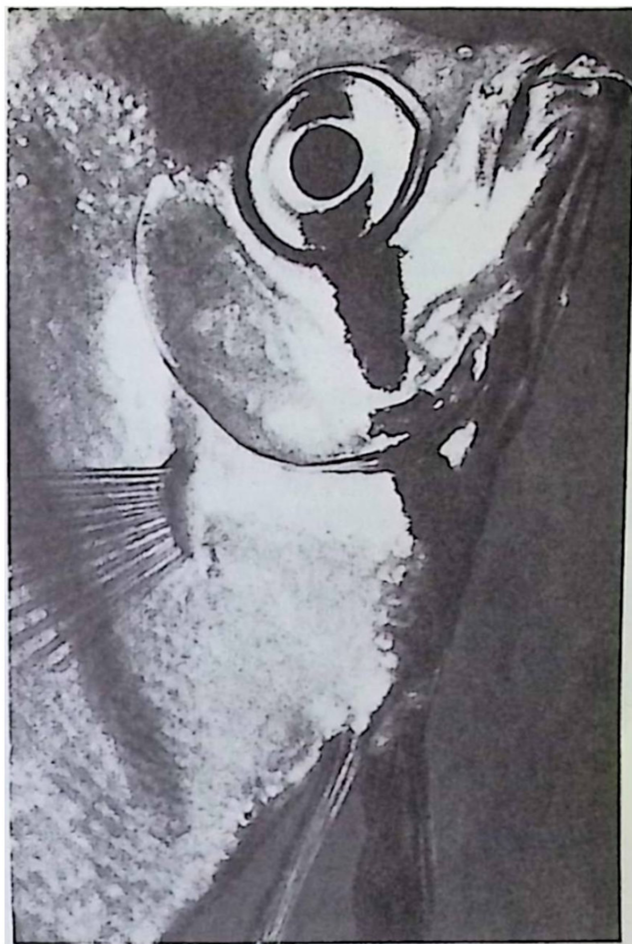


Golyó alakú szemlencsével a hal félgömb alakot lát a világból. Ez a 180 fokos látószögű objektív adta az ötletet a mérnököknek, hogy olyan fényképezőgépet szerkesszenek, amely ugyanekkora teret fog át pillantásával. Ilyen halszem-optikával készült a felvétel egy meteorológiai megfigyelőállomásról

teszi domború lencsés nagyító szemüvegét, megint fiatalnak érezheti magát, mert az éleslátás határáról, 25 cm-ről is könynyen olvashat. Lényegében a halak is így segítettek magukon, amikor a víz fénytöréséhez alkalmazkodniuk kellett a törzsfejlődés folyamán. Egyre domborúbb szemlencsére tettek szert, végül eljutottak a gömblencséhez, s ezzel tökéletesen alkalmazkodtak a vízi világ fénytanához. A szárazra vetett hallal ezért éppen a fordítottja történik, mint a víz alá merülő emberrel. Szánalmasan rövidlátóvá válik, mert a szemébe lépő fénysugarak erősebb törést szenvednek, mint ha vízből érkeznének. Csak úgy válna látása ismét élessé, ha kicsinyítő szemüveget kapna...

A vízben persze nem kell a halnak szemüveget hordania, mert gömb alakú szemlencséje tökéletes képet rajzol látóideghártyájára. Egy üveggolyó csak szánalmas utánzata ennek az optikai lencsének. Ha kis játék golyóval falra vetítjük az asztali lámpa képét, elég életlenül rajzolódik ki a fehér háttéren. A homályos körvonalak a golyó úgynevezett gömbi hibájából erednek. A szélén áthaladó sugarak nagyobb szögben törnek meg, mint a középsők, így a kép nem pontosan egy síkban keletkezik. A halak szemlencséje kiküszöböli ezt a hibát. R. J. Pumphrey angol kutató mérései szerint a gömblencse közepén nagyobb a törésmutató (1,53), mint a szélén (1,33), a sugarak tehát pontosan egyesülhetnek mögötte. Ilyen változó törésmutatójú tökéletes lencsét még napjaink technikája sem képes előállítani.

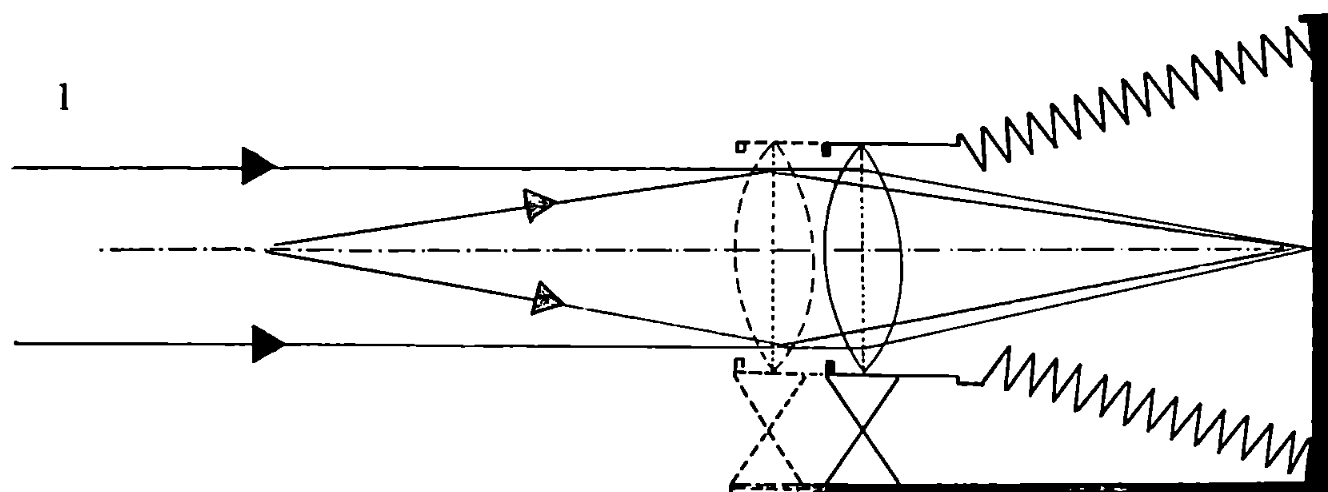
A víz alatti világban a szemek élő fényképezőgépeiről hiányzik az „objektívsapka". Ezért olyan jeges, közönyös tekintetűek a halak. Nem tudják lehunyni szemüket, mert nincs szemhéjuk. A szárazföldi állatok szemlencséjét minden pillan-

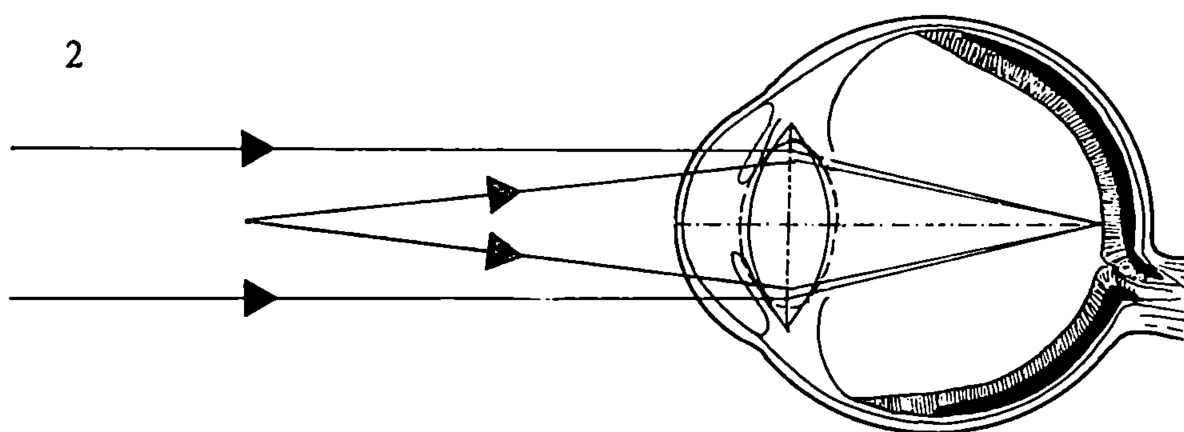


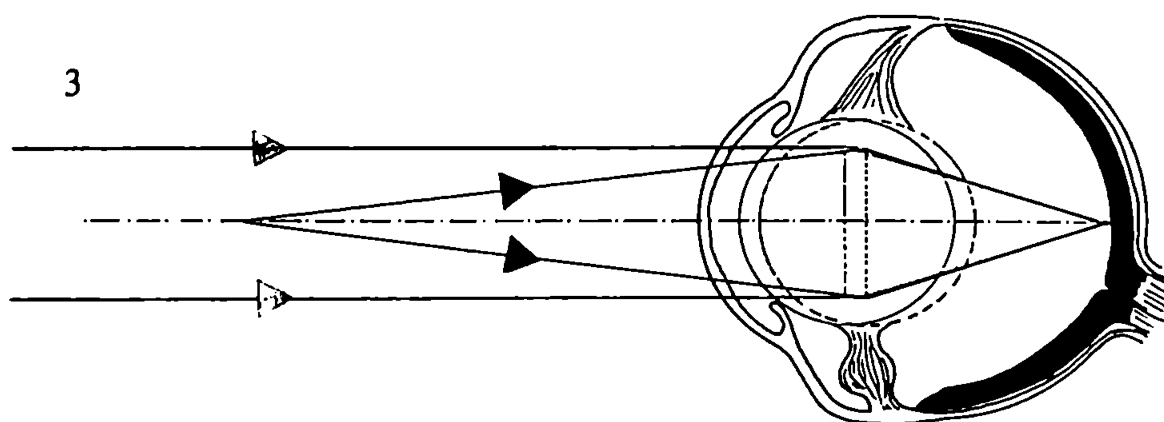
Nem éppen dicsérő jelző, ha valakire azt mondják, hogy „halszemű". De a halak erről nem tehetnek. Nem hunyják le a szemüket, mert a vízben nincs szükségük a védő és nedvesítő „redőnyre". Szemgolyójukat csak kis szögben képesek elfordítani, ezért is merev a tekintetük

tás újra nedvesíti, a halaknak azonban nincs erre szükségük, hiszen ott a víz. De ha a levegőhöz szokott állatok merülnek a vízbe, különleges védőablakot használnak, mint a könnyűbúvár, aki gumimaszkot ölt. A gyíkok és a krokodilok átlátszó pislogóhártyája például harmadik szemhéjként borul a szemgolyóra. A pingvin is egyetlen szempillantással von hasonló védőablakot szemére. A harmadik szemhéj nyoma még az ember szeme sarkában is megtalálható a rózsaszín lebenydarab alakjában.

A korszerű fényképezőgépeken nem-







Döntő különbség van az ember és a hal szemének felépítése között. A végtelenből (gyakorlatilag nagyon távolról) érkező sugarakat minden optikai lencse a gyújtópontjában egyesíti. Ha a tárgy közelít a lencséhez, akkor az objektívot a tárgy felé kell tolni a fényképezőgépben, hogy éles kép keletkezzék (1). Az emberi szemben ilyenkor csak a lencse válik domborúbbá (2). Azok a halak, amelyek nyugalmi állapotban az orruk elé néznek, gömb alakú szemlencséjüket kissé hátrahúzzák, ha távolabbra akarnak pillantani (3)

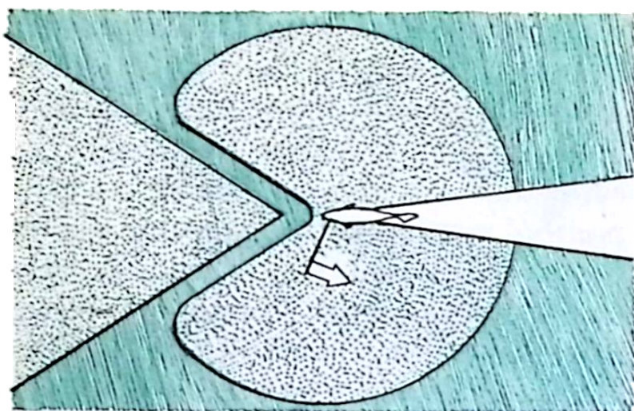
csak beépített fénymérő van, hanem olyan önműködő szerkezet is, amely a megvilágítási idő beállítása után a fénymérő villamos jelzésének megfelelően szűkíti vagy tágítja az objektív rekesznyílását. Verőfényes napsütésben kisebb, borús időben viszont nagyobb nyíláson át engedi be a sugarakat. A vizek lakóinak szemében a pupilla képviseli a fényrekeszt, gyűrű alakja éppúgy szűkül vagy tágul, mint a fényképezőgépek blendéje. Ha sok fény éri a szemet, összeszűkül, ha kevés, kitágul. Az emberi szem néhány másodperc alatt alkalmazkodik, a halak pupillája azonban sokkal nehézkesebb szerkezet: a mérések szerint a cápák fényrekesze például 2–15 perc alatt húzódik össze, s általában fél óra alatt tágul ki. A víz alatt persze nincs is szükség gyorsabb alkalmazkodásra az egyenletes félhomály miatt.

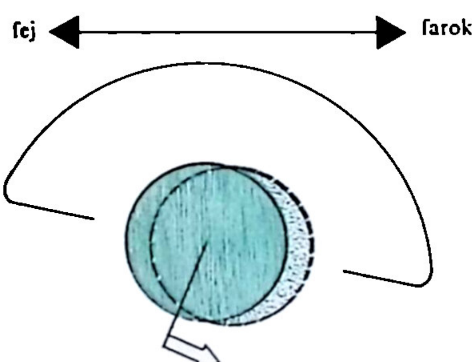
A kép élesre állítása viszont minden élő és élettelen fényképezőgépben döntő fontosságú. Ha jó a gép – jó a kép! A leképezés optikai törvénye aránylag egyszerűen megjegyezhető: a végtelenből érkező sugarak a lencse gyújtópontjában egyesülnek. Ha azonban a tárgy közelebb van, a kép hátrább keletkezik, és minél közelebb jön a tárgy, annál jobban távolodik a kép a lencsétől. A fényképezőgépben nem lehet hátrább tolni a negatívot, ezért az objektívot kell annál kijjebb csavarni, minél közelebbi tárgyról készül a felvétel. Az emlősállatok fényérző ideghártyája sem mozgatható, mégsem tologatják a szemlencséjüket, mert különleges „gumioptikával" rendelkeznek: a szemlencse görbületét változtatják. Nyugalmi állapotban a szem a végtelenbe néz. A szemlencse lapos, ilyenkor legkisebb a görbülete. Ha azonban egy közeledő alakot követ, a lencse egyre inkább összehúzódik, görbületi sugara megnövekszik, így a kép állandóan éles marad az ideghártyán.

De mit csináljon a hal? Hiába próbálja összenyomni szemlencséjét. A gömb nem válik még gömbölyűbbé! Ezért más technikai megoldást kellett választania: az elmozduló szemlencsét. Ebből a szempontból a halak két főcsoportra oszthatók. Az első csoportba a tengerfenéken és a korallzátonyok közelében békésen keresgélő halak tartoznak, amelyek nyugalmi állapotban alig látnak tovább az orruknál. Nincs is rá szükségük, mert elsősorban nem a látásukkal keresik táplálékukat. P. B. Bogatirjev szovjet kutató mérései szerint például bizonyos pontyfajok, kárászok és keszegek alig 1–5 cm-re látnak maguk körül élesen. Az emberrel ellentétben, aki gondolataiba merülve rendszerint a végtelenbe néz, ezek a gondtalan halak nyugalmi helyzetben a legrövidlátóbbak. De természetesen nem jönnek zavarba, ha valami távolabbi dolgot akarnak élesen szemügyre venni. Ilyenkor reflexszerűen hátrább húzzák szemlencséjüket, ez közelebb kerül a látóideghártyához, tehát a távoli tárgyak válnak rajta élessé. De érdekes módon csak ferdén előre látnak élesen, mintha két láthatatlan reflektorsugár mentén szemlélődnének. Körülöttük a víz többi része továbbra is homályban marad.

A halak másik csoportjának még furcsább szeme van. Szemlencséjük nem előre-hátra mozog, mint egy fényképezőgép objektívja, hanem inkább oldalirányban, a szemtengelyre merőlegesen. A pisztrángok szemének vizsgálata vezetett először arra a meglepő felismerésre, hogy a gyorsan mozgó, vadászó és jól tájékozódó halak szemének ideghártyája nem félgömb alakú (mint várható lenne), hanem inkább kivájt tökre emlékeztet, pontosabban: ellipszoid formájú. Ebből adódik a szemlencse különös játéka és szokatlan élesre állítási módszere.

Nyugalmi állapotban például a piszt-





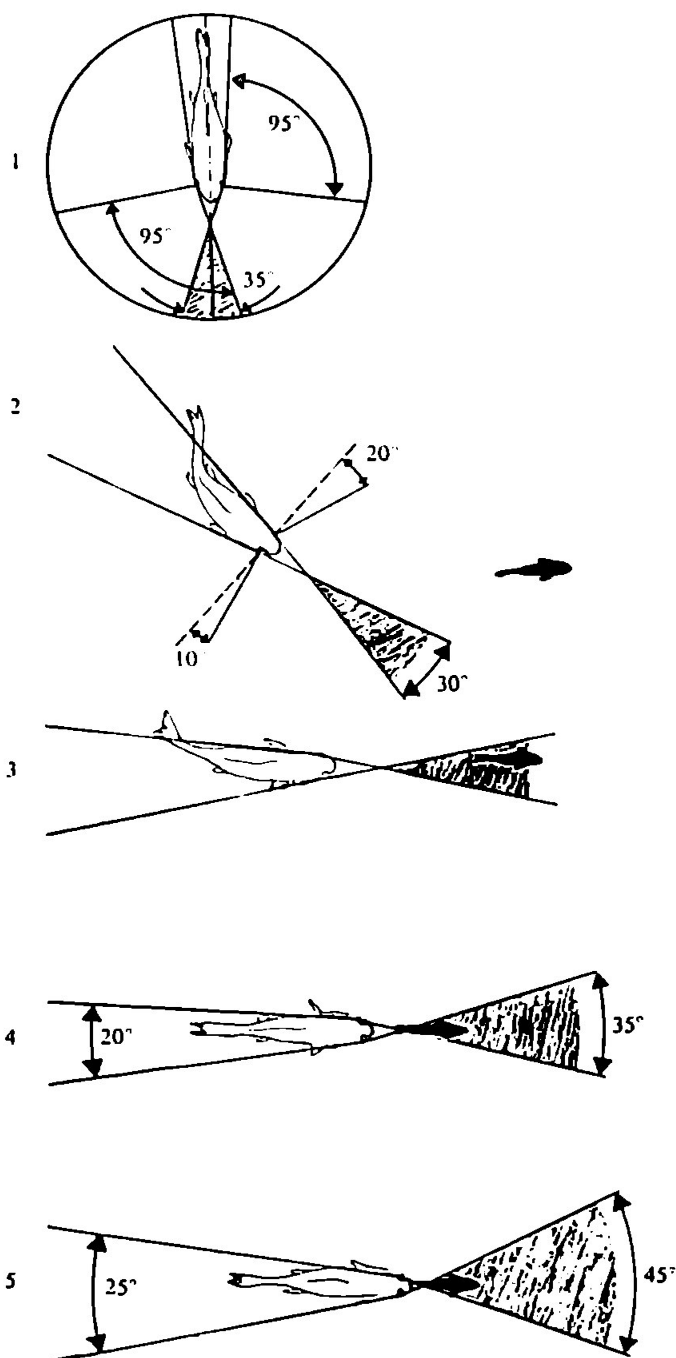
Nyugalmi helyzetben a pisztráng élesen látja távoli környezetét, csak előrenézve rövidlátó (vonalkázott terület). Ilyenkor az ellipszis keresztmetszetű ideghártya közepén helyezkedik el szemlencséje. Ha azonban a hal ezt kissé oldalra húzza, valósággal beszűkül körülötte az éleslátási tartomány, viszont a fej irányában messzebbre lát, mint korábban (pontozott terület). Farka mögött a fehér legyező sávjában semmit sem lát

ráng jobban lát hátra, mint előre. Az orra előtt csak 10–20 cm távolságra ismeri fel élesen a tárgyakat. Ez az éleslátási sáv azonban kétoldalt nagy ívben kihajlik, hátrafelé egyre szélesedik, és elvileg a végtelen felé tart. Ha egy pillantást vetünk a hal szemének metszetére, ez érthetővé is válik. Az elölről jövő fénysugarak számára az ideghártya távolabb van a szemlencsétől, tehát csak a közeli tárgyak képe rajzolódik ki rajta élesen. Az oldalról jövő, távoli fénysugarak viszont éppen éles képet adnak a közelebb fekvő retinán.

A hal csak akkor mozdítja meg a szemlencséjét, ha távol előre akar látni élesen. Ilyenkor az ellipszoid középpontjából kissé oldalt húzza szemgolyóját. Az élesre állítási játék nem befolyásolja a halak térlátását. G. Walls amerikai kutató mérései szerint csupán 15–25 fokos sugárkúpban látják maguk előtt térben a tárgyakat, tehát sokkal „szűklátókörűbbek", mint a két szemmel előretekintő ember.

A halszem alkalmazkodása tehát attól függ, milyen irányban akarja az állat szemügyre venni környezetét. P. B. Bogatirjev szovjet kutató mérései szerint ez a furcsa élességszabályozó rendszer kitűnően működik: a legtöbb hal öt centimétertől a végtelenig tetszés szerinti távolságról kaphat éles képet. Sőt kis mértékben még a szemgolyójukat is tudják forgatni, ami különösen a zsákmány követésében nyújt nagy segítséget. K. Trewarthen angol kutató vizsgálatai szerint a ragadozó aranykárász például 35 fokos „legyező alakban" néz maga elé két szemmel. Ha oldalról pillantja meg zsákmányát, egyik szemét a másiktól függetlenül mozgatva, egy szemmel követi az apró halat. Amikor támadásba lendül, egyenesen ráúszik: szemei egyre beljebb fordulnak, szinte bandzsítva tapadnak a zsákmányra. Végül térlátásának határvonalán már csak ki kell tátani a száját, hogy bekapja a falatot.

A halak és a hüllők rosszabbul látnak, mint az ember, a látásélesség ugyanis nemcsak azon múlik, hogy a szem optikai rendszere mennyire tökéletes. Attól is függ, hogy milyen sűrűn helyezkednek el az ideghártyán a fényérző idegsejtek. Hiába használ valaki tökéletes fényképezőgépet, durva szemcsézetű negatívon minden kép életlen lesz. Az átlagos emberi szemhez képest I. J. Weiler mérései szerint az Astronotus ocellatus nevű hal



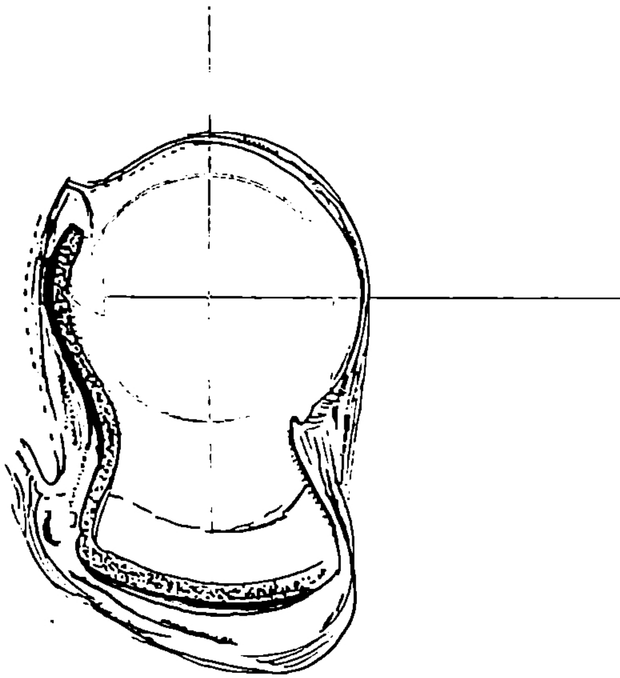


Még nehezen szoktak hozzá a kétéltűek és a hüllők a levegőben való látáshoz, amióta hal őseik kimerészkedtek a szárazföldre. Ezért ha mozdulatlan körülöttük minden, alig ismerik fel környezetüket. A vízben lapuló krokodil csak homályos foltokat lát maga körül

A ragadozó aranykárász az áttetsző vízben úszkálva kissé előretekint. Két szemének látótere átfedi egymást, így 35 fokos szögben háromdimenziósan lát (1). Amikor megpillantja zsákmányát, és üldözésére indul, bal szemét elfordítja a célpont irányában (2). A kis hal az aranykárász térlátásának zónájába került (3). Most már nem menekül! A ragadozó hal mindkét szeme rászegeződik (4). A szemek csaknem az utolsó pillanatig kísérik az áldozatot, amíg a dráma be nem teljesül (5)

például ötször rosszabbul lát. Szemének felbontóképessége 5,3 szögperc, tehát nagyjából úgy lát a vízben, mint a macska a szárazon. Ezt a kísérleti megfigyelést G. Brunner mikroszkópos vizsgálatai is igazolják: a halak szemében körülbelül ennek megfelelő távolságban sorakoznak a látóidegsejtek. Az alligátorok még ilyen éleslátással sem dicsekedhetnek: tíz méter távolságból egy 3–3 cm széles fekete-fehér csíkokkal borított takarón nem vesznek észre egy puskacsövet, mert az egészet egyetlen fekete foltként érzékelik.

Azok a tengeri halak, amelyek nem tudják mozgatni szemlencséjüket, aszerint látnak éles képet, hogy milyen irány-

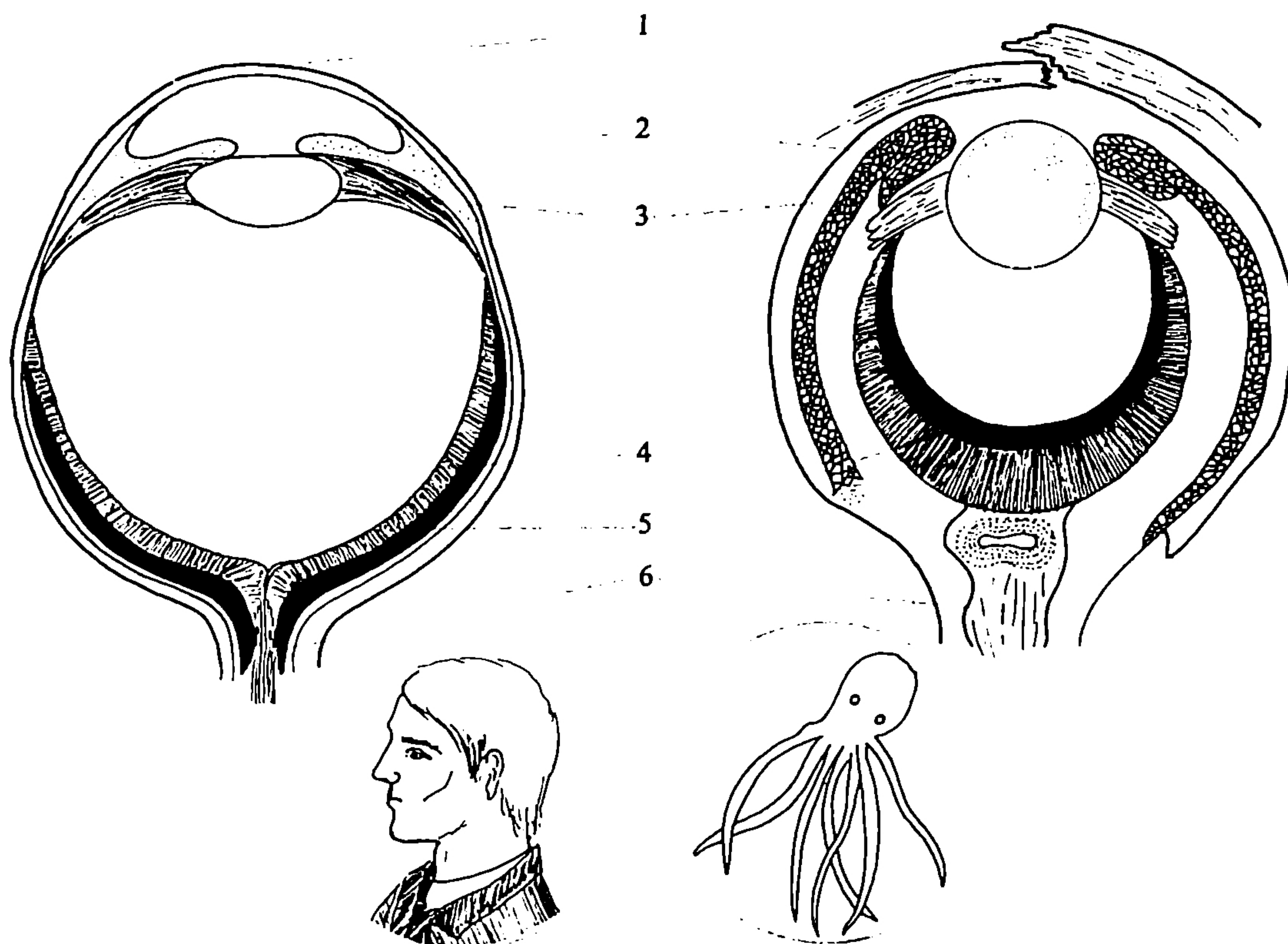


A mélytengeri halak különös teleszkópos szemre tettek szert. A Scopelarchus csak homályosan látja járulékos ideghártyáján a távoli halat. Ha tudni akarja, hogy barát vagy ellenség közeledik-e, akkor alá úszik. Gömblencséjének gyújtópontjába a főideghártyán most már éles kép keletkezik

ból jön a fény. Különösen a mélytengeri halak kedvelik ezeket a különös kamerákat. A világító szardínia alakúak rendjébe tartozó teleszkópszemű Scopelarchus nevű mélytengeri csontoshal lencséje alatt például zsák alakban húzódik a látóideghártya. Ha úszás közben előretekint, csak homályos képet lát, mert ideghártyájának ezen a végén sokkal ritkábban helyezkednek el a látósejtek, mint lejjebb. Lencséje ilyenkor a távoli tárgyakról vetít viszonylag éles képet, ami talán elég is a felderítéshez. Ha azonban a Scopelarchus alaposabban akarja szemügyre venni a vízben feltűnt homályos alakzatot, aláúszik. A kép a „zsák" aljára vándorol, s most már elég éles ahhoz, hogy a hal eldöntse, támadjon vagy meneküljön.

Annyi bizonyos, hogy ez a mulatságosnak tűnő kamera a törzsfejlődés évmilliói alatt fontos feladatot töltött be abban a küzdelemben, amelyet a mélytengeri halak életük fenntartásáért vívtak. A követelményeknek megfelelően alakult ki számos lehetséges változat közül. Több ezer méter vízmélységben ezeket a halakat nem oldalról, hanem rendszerint felülről érheti meglepetés, és a zsákmány is itt tűnhet fel. Ezért látnak felfelé a legélesebben. A pupilla is hiányzik szemükből, mert a lencsének a lehető legtöbb fényt kell összegyűjtenie a tenger félhomályában. A Scopelarchus számára tehát ez a teleszkóp a legtökéletesebb szem, és ugyanígy a többi állat „találmánya" is a lehetőségekhez képest a legjobb, csak az ember szempontjából van közöttük „primitív" vagy „tökéletes" szerkezet.

Mérnökszemmel nézve azonban a polipok és a tintahalak „gömbkamerája" még az emberi szemnél is jobb. Ideghártyájukon ugyanis a látósejtek éppen ellenkező irányba néznek, mint az ember szemében. Ehhez tudni kell, hogy szemünkben furcsa módon „hátat fordítanak" a fénynek a látósejtek. A 0,06 mm hosszú pálcikák (és csapok) fényérzékeny vége az ideghártyába van ágyazva, így a hozzájuk csatlakozó látóidegsejtek hálózata külön réteget alkot felettük a szem belsejében. Valahol azonban a hétmillió idegszál kötegének el kell hagynia a szemgolyót, hogy a látósejtek villamos jelei eljussanak az agyba. Ahol a köteg áttöri a fényérzékeny réteget és az érhártyát, ott van szemünkben a „vakfolt". Ha ide esik például a telihold képe, semmit sem látunk belőle. A polipokat nem érheti ilyen meglepetés. Minthogy szemükben a látósejtek a fény felé néznek, éppen fordított irányban sorakoznak. Az ideghártya a látósejtek mögött húzódik, és az idegszálköteg úgy hagyhatja el a szemet, hogy nem okoz vakfoltot. A vízben kalandozó lábasfejűek sokszor ennek köszönhetik életüket:



Ahol a látóidegszálak kötege áttöri a retinát, ott van az ember szemében a vakfolt. Ha ide esik a kép, semmit sem látunk. A polipot nem fenyegeti ez a veszély. Ideghártyája a látósejtek sora mögött húzódik. (1: szaruhártya, 2: szivárványhártya, 3: szemlencse, 4: ideghártya, 5: látósejthártya, 6: idegszálköteg)

a támadó egy pillanatra sem tűnik el látóterükből.

Levegő és víz határán

Az angol ICL laboratóriumban az emberi szem alakfelismerő képességét vizsgálták a kutatók. A félhomályban csak a négyzethálós rácsszerkezet derengett, amelynek mozaikkockáin egy-egy színfolt jelezte a kivetített színes kép részleteit. A kísérlet résztvevői némán ültek. Egyikük sem tudta felismerni, mit ábrázol a kép. Amikor azonban az eredménytelen kísérlet végén a kezelő kihúzta a gépből a diapozitívot, az elmozduló kép láttán egyszer csak megszólalt valaki: „Akadályon átugrató lovas van a képen."

Ez a kísérlet szemléltetően bizonyította, hogy a mozgó formák, alakzatok könnyebben felismerhetők, mint az állók. De nemcsak az ember számára. Köztudott, hogy a békák meglepően vaksiak. L. H. Matthews megfigyelése szerint csak 90 cm-ig látnak élesen. Mégis hiába raknak egy fogva tartott béka ketrecébe frissen megölt rovarokat, inkább éhen hal, de nem nyúl hozzájuk. Egyszerűen nem veszi észre a finom falatokat. Csak azt látja, ami mozog!

Bizarr feltevés? Az amerikai MIT ku-

tatólaboratóriumban J. Lettvin, H. Maturana és munkatársai – majd később más országok kutatói is – kézzelfogható bizonyítékokkal támasztották alá az elméletet. Vizsgálataik alapján kiderült, hogy a békák olyan alakfelismerő berendezéssel rendelkeznek, amelynek bámulatos tökéletességéből és gazdaságos felépítéséből még az elektronika szakemberei is tanulhatnak. Egy leopárdbéka ideghártyájának villamos jeleit fogták vallatóra a kutatók. Az emberi hajszálnál tízszer vékonyabb platina tűket szúrtak a béka agyának látómezejébe, s ezeknek az elektródoknak a villamos jeleivel térképezték fel a béka látásának mechanizmusát.

Homorú alumínium tükör elé ültették a békát, kipécézett idegszálainak villamos vezetékét pedig tv-képernyőhöz és egy hangszóróhoz kapcsolták. Ezután különféle apró alakzatokat – háromszöget, négyszöget – helyeztek a lemezre. A képernyőn semmiféle villogó jel nem mutatkozott, a hangszóró is hallgatott. „Nem látja őket a béka" – állapították meg a kutatók. Végül egy korong került sorra. Még mindig csend volt a szobában. Amikor azonban mozgatni kezdték, egyszercsak szapora kattogás tört elő a hangszóróból, és a képernyőn is kiugró fénytüskék jelentek meg ugyanebben az ütemben.



Derűs nyugalommal tekint a világba az ásóbéka. Ha szellő se rebbenti körülötte a nádast, a levegő olyan kékesszürke ködként lebeg a szeme előtt, mintha mocsár mélyén ülne. Így annál könnyebben észreveszi, ha egy bogár száll el előtte. Mást nem is lát ilyenkor a háttérben, csak a mozgó csalétket

Mi az, ami általában ilyen kerek körvonallal tűnik fel a béka ideghártyáján? Rendszerint egy bogár, a leendő zsákmány! Ez tehát a béka szemének titka. Csak a mozgó rovart, bogarat veszi észre! Lettvin és Maturana el is nevezték ezt az idegrosttípus „bogár-érzékelőnek". A további kísérletek azonban még érdekesebb rendszerre derítettek fényt. Ezeken az idegrostokon kívül olyanokat is találtak, amelyek a béka ideghártyáján egy tárgynak csak a körvonaláról vesznek tudomást. Ezek a „körvonal-érzékelők" másodpercenként 30–40 parányi villamos kisüléssel küldenek jelzést a béka agyába azokról a pontokról, ahol a tárgy képének „folyamatossága" megszakad. Vannak olyan idegsejtek is, amelyek csak az egyes látósejtek megvilágításának változásáról adnak hírt. Ezek az „esemény-érzékelő" idegszálak tehát a mozgásokat figyelik. És végül bizonyos idegszálak olyan vészjelző rendszert alkotnak, amelyből csak akkor érkeznek villamos jelek az agyba, ha az egész látómező hirtelen elsötétül. Nyugodtan összpontosíthatja tehát figyelmét a béka egy mozgó bogárra, mert „homály-érzékelője" azonnal jelez, ha például érdeklődve hajol fölé egy gólya.

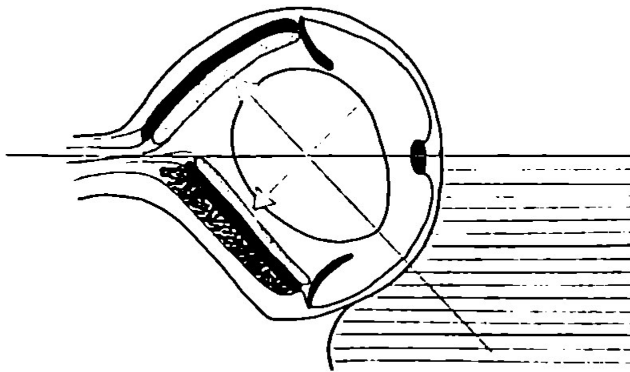
Mindebben az a legfantasztikusabb, hogy a béka agyában négy különböző „mozaikkép" rétege jelenik meg egymás fölött, alulról felfelé a következő sorrendben: a határvonal-térkép, a bogárérzékelő-térkép, az eseményérzékelő-térkép és a homály-térkép. Ezek csodálatos pontossággal másolódnak egymásra, mint egy nyomtatott színes képen az alapszínek. Ennek alapján a béka biztosan dönthet, hogy könnyű zsákmány vagy veszélyes élőlény mozog-e előtte. Ha a négy képből például egy gyanútlan rovar portréja alakul ki, máris készenlétbe helyezheti „katapultját" az ugráshoz. A Harvard Egyetemen végzett vizsgálatok arra utalnak, hogy a majmok látóidegsejtjei is hasonló rendszert alkotva küldik villamos jeleiket az agyba, és egyre erősödik a kutatók gyanúja, hogy az emberi szem is voltaképpen ilyen „széttördelt" részletek alapján ismeri fel a különféle formákat.

Ezek a kutatások rendkívül jelentősek az elektronikus alakfelismerő gépek szerkesztése szempontjából, hiszen az évmilliók alatt kikísérletezett és bevált élő találmányok felhasználhatók a technikában is. Az amerikai Bell kutatólaboratóriumban például már elkészítették az első mesterséges „bogárérzékelő" készüléket. A kártyalap nagyságú „idegsejten" öt tranzisztor és egyéb elektronikai egységek találhatók. Hat fotocellával összekapcsolva – amelyek hat mesterséges látósejtként érzékelik a fényerősségváltozásokat – a szerkezet csak akkor ad villamos jelet, ha valamilyen kerek mozgó tárgy tűnik fel előtte. Az elektronikus számítógépek nemsokára ilyen szemekkel akár tervrajzokat is olvashatnak majd, és önállóan végezhetnek kisebb szerelési munkákat a hozzájuk kapcsolt ügyes manipulátor-kezekkel, miközben folyamatosan „szemmel tartják" az alakuló munkadarabot.

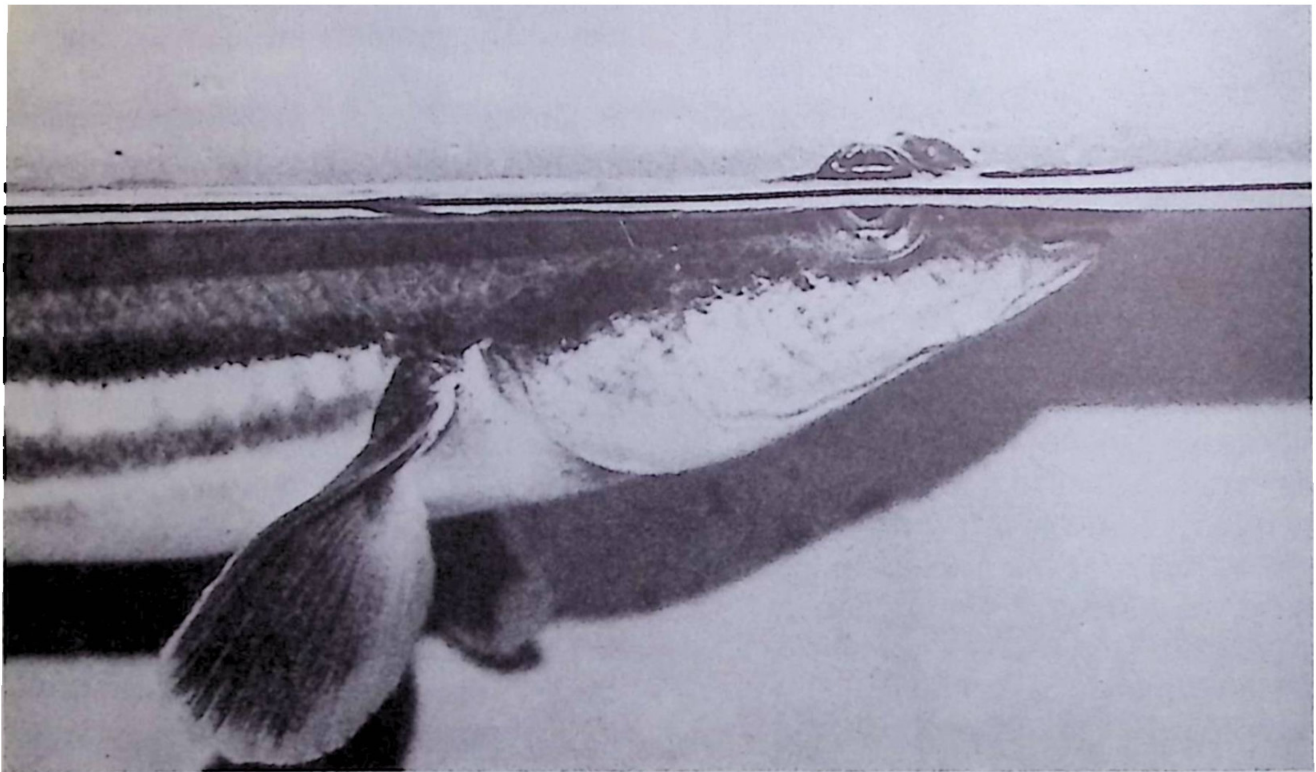
A hüllők mozgásérzékelése a kétéltűekéhez hasonló. Így válik érthetővé, miért himbálja fejét a kígyó, ha zsákmányt szimatol. Ilyenkor szemének ideghártyáján mozgatja a környezet képét, így könnyebben felismeri a lapuló áldozatot. Nemcsak a félelem diktálja tehát, hogy a kígyóval szembetalálkozó kisebb rágcsáló önkéntelenül megmerevedik. Ősidők óta szerzett tapasztalata tanította meg arra, hogy a kígyó nehezebben veszi őt észre, ha mozdulatlanná válik, mint ha menekülni próbál.

De még ma sem tudunk sokat a kétéltűek víz alatti látásáról. A víz és a levegő

különböző fénytörése mindenképpen próbára teszi szemüket. A halak, mint tudjuk, teljesen csődbe jutnak a levegőben. Egyedül az ún. négyszemű halnak (Anableps) sikerült olyan szemre szert tennie, amely vízben és levegőben egyaránt jól használható. Egyszerű megoldást talált: négy szemet használ! Minthogy rendszerint a vízfelszínen tartózkodik, kíváncsian lesi az eseményeket a víz alatt és a víz felett egyaránt. Két szemlencséje van, mégis négyszemű, mert ideghártyája két részre osztva várja a levegőből és a víz alól érkező képeket. Szemlencséjének víz alatti része vastagabb, ebben az irányban tehát csaknem ugyanakkora a gyújtótávolsága, mint levegővel érintkező keskenyebb felének, ez okozza, hogy mindenképpen éles kép keletkezik látóideghártyáján.



A négyszemű hal (Anableps tetrophthalmus) nagy szemét egy sötét válaszfal felső és alsó részre osztja.
Kettős szemével egyszerre figyeli, hogy mi történik a vízen és a víz alatt.
A szemlencse eltorzult gömb alakú, lefelé, a víz irányában vastagabb és görbítettebb, így erősebben töri meg az érkező fénysugarakat.
Az ivadék szeme kezdetben még osztatlan.
A közép-amerikai és brazil tengerpartok közelében él

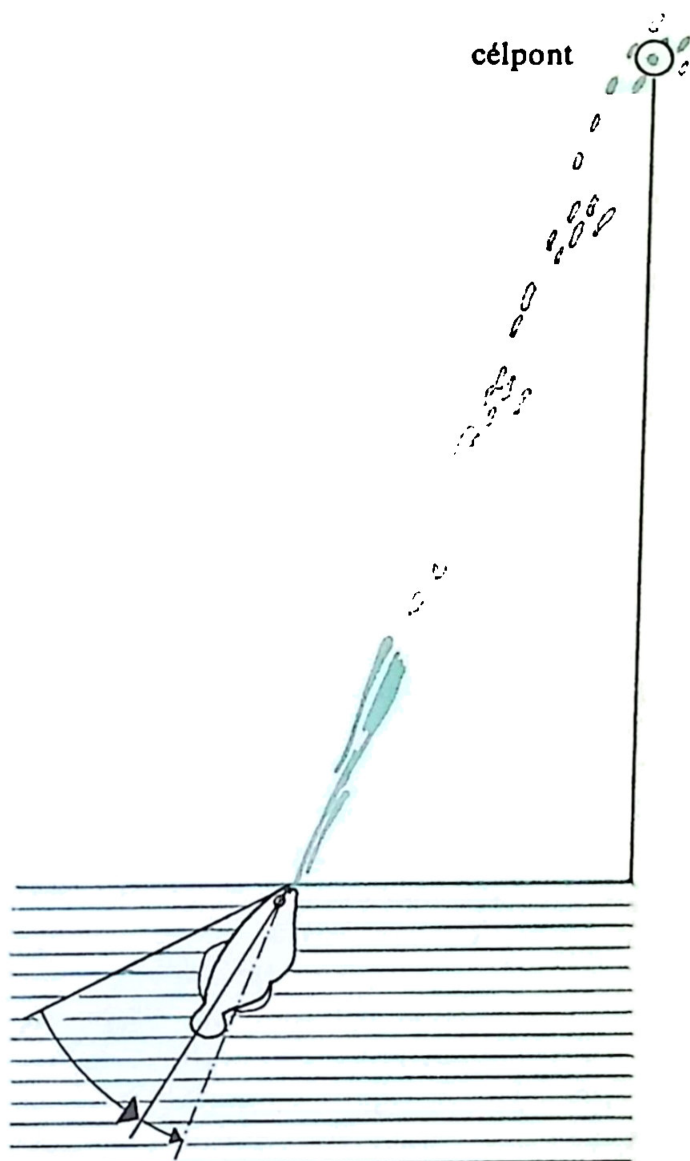


A víz felett óvatlanul elszálló rovarokra vadászik az Anableps. Ezért fejlődött ki különleges szeme, amellyel egyszerre lát a víz felett és a víz alatt. A levegőben a rovarokat figyeli, hogy a kellő pillanatban ugorjon ki, a vízben viszont arra ügyel, hogy közben ne ő váljon egy ragadozó hal prédájává

A repülőhal számára létkérdés, hogy a levegőbe lendülve pontosan lássa, milyen magasan száll a víz felett, mert ettől függ sikeres menekülése üldözője elől. E. R. Baylor angol kutató 1967-ben végzett vizsgálatai szerint a repülőhal szaruhártyája erősen domború, de alsó egyharmada hirtelen ellaposodik. Ez a különös hal tehát állandóan magánál hordja „szemüvegét", amely megmenti őt a rövidlátástól. A levegőből visszapillantva pontosan felbecsülheti a vízfelszíntől való távolságát.

A lövőhalnak is felkopna az álla, ha nem ismerné a fénytörés szabályait. Persze nem a fizikakönyvekből. Évmilliók tapasztalata vezette rá, hogy a víz alól kilőtt vízsugár mikor találja el a víz felett gyanútlanul lebegő pillangót vagy a faágon üldögélő bogarat. A kutatók sokáig arra gondoltak, hogy a Toxotes jaculator ösztönösen ismeri a fénytörés szabályait, de később a vizsgálatok során kitűnt, hogy a pontos célzás csak jól beidegzett reflex, amelyhez a hal kitűnő térlátása nyújt segítséget. Általában úgy úszik a zsákmány alá, hogy 140–170 fokos szöget zárjon be a függőlegessel, ebben az irányban a vízbe érkező fénysugár már csak alig észrevehetően törik meg. Ugyanakkor egészen a vízfelszínhez közel úszik, tehát a fénysugár gyakorlatilag törés nélkül érkezik szemébe. Ezzel minden fénytani problémát kiküszöbölt. Ahová néz, oda lő!

A lövés pillanatában hossztengelye csaknem egy irányban van a célponttal, így vízsugarának lövési szögét sem kell esetenként módosítania. De nem is tudja, ahogyan lövőerejét sem képes szabályozni. Lüling amerikai kutató szerint akár közelre, akár távolra lő, mindig azonos a „tűzereje". Általában 40–60 cm távolságig meglepően pontosan lő, de 90–120 cm-ről is eltalál egy rovart. Sőt, F. D.



Közvetlenül a vízfelszín alól céloz a lövőhal, miközben testének hossztengelyét a cél felé irányítja. A vízsugár sebessége 4 m/mp. Ez elenyésző egy pisztolygolyó 700 m/mp sebességéhez képest, de a lövőhal így sem hal éhen

Ommaney a halakról írott könyvében azt állítja, hogy egyes példányok 4–5 méter távolságra lőnek. De hogy mennyire nem tudatos tevékenységről van szó, arra jellemző, hogy Hediger biológus professzornak volt egy ferde szájú lövőhala. Ez mindig mellélőtt. Sohasem tanulta meg a helyes célzást, mert ösztönös célzóművészetét csak örökölte.

Két szem háromfelé néz

Az egyiptomi domborművek és falfestmények figurái szinte időtlen tekintettel pillantanak le ránk az évezredek távlatából. De ez nem valamiféle homályos érzés, amely hatalmába keríti a szemlélőt, hanem a művész által tudatosan kiváltott lélektani hatás. Minden alakot „beforgatták" az egyiptomiak a fal síkjába, s az egyes részleteket hol szemből, hol oldalról nézve ábrázolták. Így került profilba az arc, a szemet viszont szembefordították. Ezért olyan nagy és kifejező az egyiptomi figurák szeme. Ugyanez az elrendezési mód az állatvilágban is megtalálható, de sokkal gyakorlatibb célt szolgál. A nyulak szemének tengelyei például csaknem 180 fokot zárnak be egymással, tehát valóságos „körlátásuk" van; a zsiráfok 140 fokos, a szarvasok több mint 100 fokos szemtengelyszöge is lehetővé teszi, hogy csaknem az egész horizontot szemmel tartsák maguk körül. Bár a növényevők látása nem olyan éles, mint az emberé, a mozgást azonnal észreveszik. Az első figyelmeztetést szemükből kapják, majd „bekapcsolják" kifinomult hallásukat és szaglásukat, hogy pontosabb információt szerezzenek, barát vagy ellenség közeledik-e feléjük.

A kutyák és a farkasok szemtengelye 30–50 fokot zár be egymással, az oroszlán pedig még „szúrósabb" tekintettel néz előre: szemtengelyszöge mindössze 10 fok. A szemek elhelyezkedése az életmódhoz igazodott, azzal együtt alakult ki a törzsfejlődés folyamán. Elég egy pillantást vetnünk bármelyik emlősállatra, hogy nagy valószínűséggel megmondjuk, hol áll a növényevőktől a ragadozókig húzódó sorban. (Persze nemcsak ennek van jelentősége az életmód megítélésében.) Annyi bizonyos, hogy minél előbbre tekintő egy állat szeme, annál kisebb teret fog be. Az elveszett látótérért viszont a térlátás nyújt kárpótlást.

Két szemmel nézve ugyanazt a tárgyat, felbecsülhetővé válik távolsága. A légifelvételekből is így állapítják meg a szakemberek a földfelszín domborulatainak magasságát. A sztereo-fényképezőgépen az objektívok tengelye párhuzamos, az előretekintő szemek tengelye azonban mindig azon a ponton metszi egymást, ahová a figyelem irányul. Az elforduló szemek így beépített távmérőként működnek. A szemek helyzetéről a szemmozgató izmok megfeszüléséből kap tájékoztatást az agy, s ennek alapján határozza meg a távolságot.

De a szemekben más ötletes technikai megoldások is föllelhetők. A fényképező kamerák belseje teljesen fekete, nehogy a visszaverődő fényekből „szellemkép" keletkezzék a negatívon. Még a fényérzékeny film hátlapját is fényelnyelő réteggel vonják be gyárilag, nehogy az ezüstbromid szemcsék között akadálytalanul áthaladó fénysugarak visszaforduljanak. Az állatok szemében ugyanilyen fényelnyelő festékréteg található, amely megakadályozza, hogy a látósejtek közt elsuhanó fénysugarak visszaverődve szellemképet idézzenek elő.

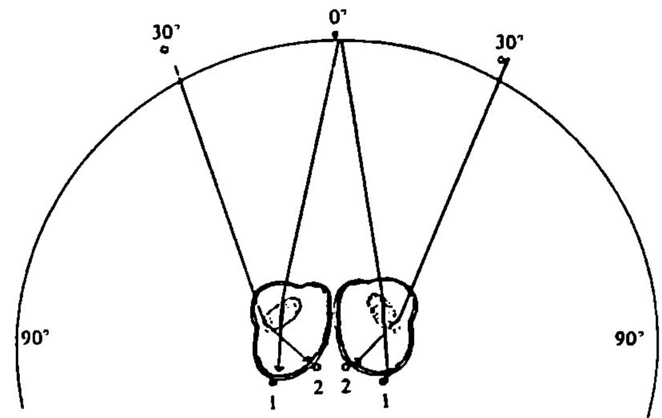
A legmodernebb fényképezőgépekben csak a kazettát kell kicserélni, ha valaki fekete-fehér negatív helyett színesre akar dolgozni. Az élő kamerában egyszerre áll készenlétben mind a két „nyersanyag". Az emberi szemben 125 millió, pálcikának nevezett parányi látósejt érzékeli a fényerősség-változásokat, és 5 millió, csapnak mondott, egészen más alakú látósejt fogja fel a különböző hullámhosszúságú színes sugarakat. A pálcikákkal szürkületben, a csapokkal nappal látunk. De az ideghártya „negatívja" nem egyformán „szemcsézett" mindenütt. A szemlencsével szemközti 0,6–0,7 mm átmé-

rőjű darabkáján csak csapok zsúfolódtak össze. Itt az ideghártya bemélyül, és ezen a felületen, az ún. sárgafolton veszteség nélkül éri el a fény a csapokat.

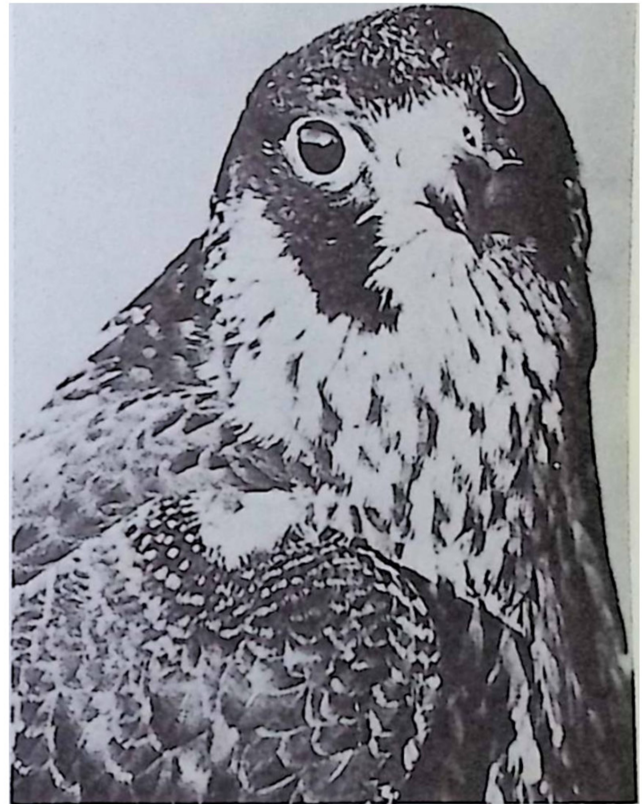
Ha egy könyvespolcra pillantunk, azt a könyvcímet tudjuk elolvasni, amelynek a képe éppen a sárgafoltra esik. Erről a területről kapja ugyanis agyunk a legélesebb és a legszíngazdagabb képet, holott a többi könyv is benne van a látóterünkben. Minthogy a sárgafolt éppen szemben van a szemlencsével, azt látjuk mindig a legélesebben, ami felé a szemgolyónkat fordítjuk. Ezért követi szemünk például röptében a teniszlabdát, noha akkor is látnánk, ha meg sem mozdítanánk szemgolyónkat. Így azonban a labda képe folyamatosan a sárgafolton marad, tehát állandóan éles kép keletkezik róla.

Ezt azért jó tudni, mert a „légtérellenőrző" állatok szemében jórészt fényérzékelő pálcikák sorakoznak. Csapok hiányában így színtelen és életlenebb képet látnak, viszont a megvilágítás erősségének változásából a legapróbb mozgást is észreveszik. Az előrenéző állatok szemében több csap van, mint pálcika, a színes látás révén tehát a finomabb részleteket is megkülönböztetik.

A madarak színekben tobzódó világában különös légi-fényképezőgépek találhatók. Nappal valószínűleg az ő látásuk a legtökéletesebb az állatok között. Ideghártyájukon csak csapok sorakoznak, és legtöbbjüknek két sárgafolt van a szemében. Így egyszerre három tárgyat láthatnak élesen három különböző irányból: két oldalról a távoli képek egy-egy szemben a központi sárgafoltra esnek, ugyanakkor közelről is éles képet lát a madár maga előtt. Ilyenkor a fénysugarak az oldalsó sárgafoltra érkeznek, tehát az agyban térhatású kép alakul ki. A csirke vagy a pulyka szeméből azonban



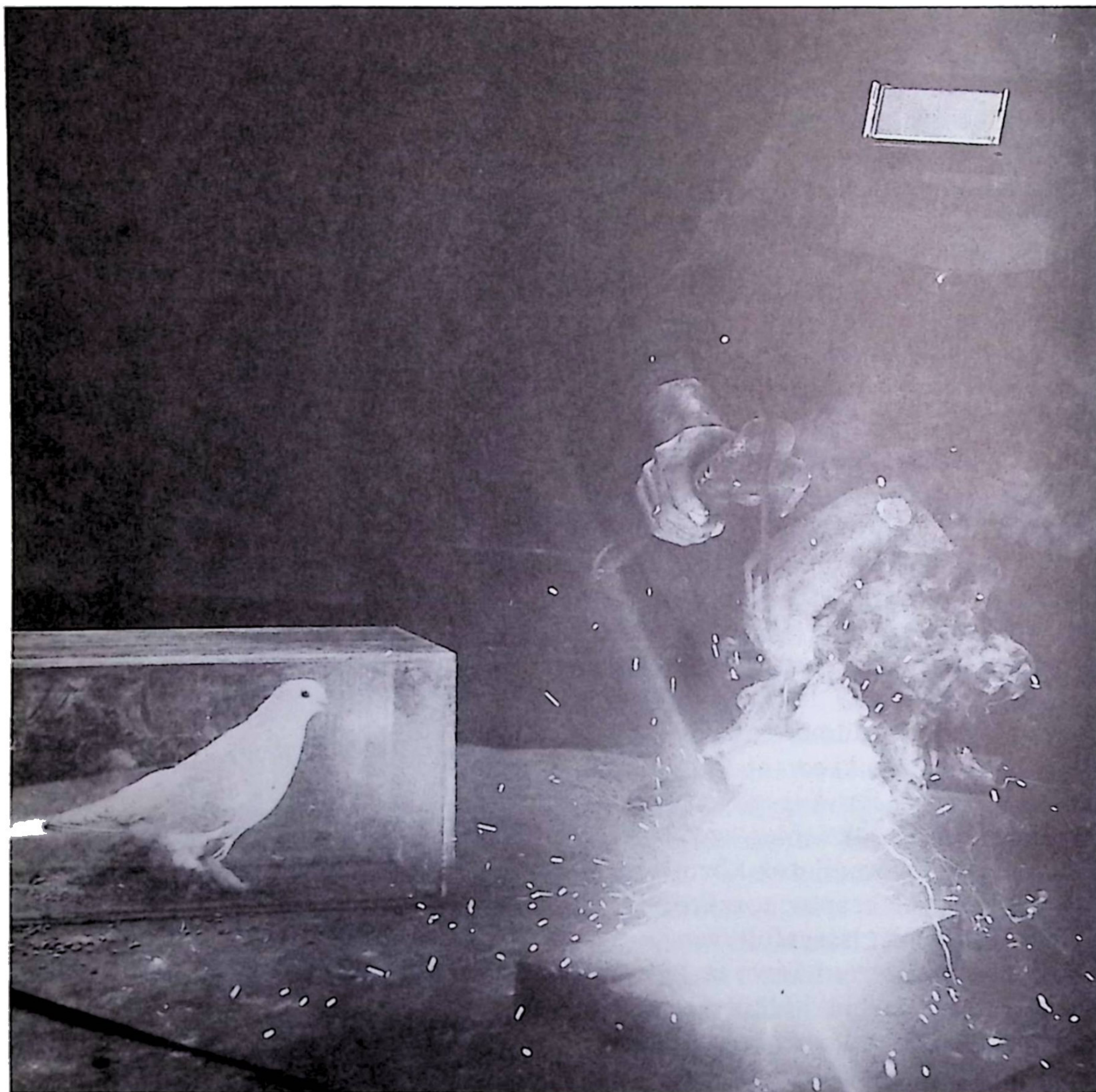
A vörös vércse két szemének vízszintes metszete. A kettős sárgafolt (1 és 2) lehetővé teszi, hogy a madár egyszerre három irányba nézzen. A központi foveákkal (2) két tárgyat láthat oldalról, egymástól függetlenül élesen. A két oldalsó foveán (1) kialakuló kép a háromdimenziós látást teszi lehetővé



A sólyom szemében két ponton keletkezik éles kép, így elvileg egyszerre háromfelé nézhet. Nem tudjuk, hogyan lát, de valószínűleg egyszerre csak egy irányba néz. Ha nagy magasságban kering, valamelyik szemével oldalra pillantva látja térképszerűen a tájat „végtelen" távolságra beállított szemlencséjével. Ha viszont lecsap áldozatára, már két szemét egyszerre használja a rövid távú térbeli látásra

hiányzik az oldalsó sárgafolt. Ezért fordítja el a fejét a csirke olyan mulatságosan, mintha valami kérdésen tűnődne, amikor magot keres a földön. Szemében csak akkor keletkezik éles kép a központi sárgafolton. A sólyom viszont oldalsó „éleslátásával" már egy kilométer magasságból is észrevesz egy egeret, ami hatszorosan múlja felül az emberi szem teljesítőképességét.

A bagoly teljesen a térlátásra rendezkedett be. Előrenéző szemeit már nem is tudja forgatni, mert szemmozgató izmai elsorvadtak. Ha élénken figyel, a fejét kell

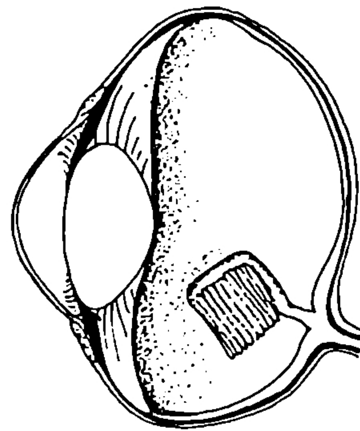
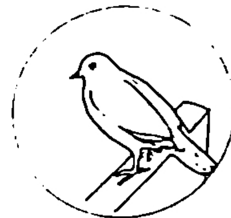
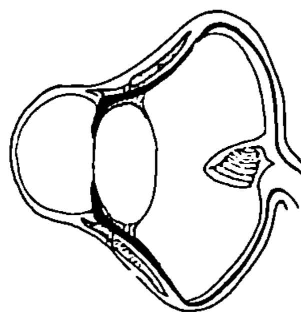


Nyugodtan néz a galamb a villamos hegesztőpáka vakító ívfényébe. Semmivel sem veszélyesebb ez számára, mint amikor a Napot látja órákon át. A legújabb vizsgálatok szerint szemében a csipkeszélű fésűszerv alkot „védő szemüveget". Ezenkívül szovjet kutatók megállapítása szerint látóideghártyája kisebb ingerrel válaszol, ha csőrének vonalától magasabb szögből érkeznek a napsugarak, mint ha alulról kapja a fényt. Ennek mintájára szerkesztették a jobboldalt látható tört vonalú védő szemüveget

forgatnia, ebben viszont olyan ügyességre tett szert, hogy több mint egy kört tud vele leírni. Innen származik az a tréfás amerikai mondás, hogyan kell baglyot fogni: „Járd körül háromszor, így addig követ a szemével, míg ki nem tekeri saját nyakát, és a markodba hull."

A madaraknak a gyors mozgásokat is pontosan kell érzékelniük. Ha a veréb leszáll egy ágra, ez számára legalább olyan sebesség, mintha egy sugárhajtású gép összekapná szárnyait, és egy lapos háztetőn landolna. Ilyenkor érdekes késleltető rendszerrel követi a madár szeme az elsuhanó képeket. Ideghártyáján egymástól távoli látósejtek kapcsolódnak ugyanahhoz az idegsejthez, így a villamos jelek egymáshoz képest késve indulnak az agy felé. Ezzel a trükkel több idő jut egy-egy kép részleteinek felismerésére. A madarak éleslátását valószínűleg az is elősegíti, hogy ideghártyájukon nincs olyan érhálózat, mint az emlősök szemében, a fény tehát akadálytalanabbul jut el a látósejtekig. A vérerek egy vékony membránban – a pectenben – tömörülnek, és az ideghártya sejtjei ebből kapják táplálékukat. Ez az úgynevezett fésűszerv csaknem teljesen átlátszó, s hogy tulajdonképpen mire jó, még ma is vitatkoznak rajta a kutatók. Egyesek szerint a Föld mágneses erővonalait érzékeli a madár, s ennek alapján tájékozódik a nagy őszi vonulások idején.

1972-ben a California Egyetem két kutatójának vizsgálatai nyomán újabb elmélet látott napvilágot, amely azt az elképzelést támasztja alá, hogy a fésűszerv különös alakja optikai célt szolgál. A kutatók szerint mintegy „szemellenzőként" használják a madarak a pectent az állandó napsütésben. Megállapították, hogy a galamb fésűszerve az ideghártya különböző pontjairól visszaverődő erős fényreflexeket fogja fel. A Nap képe ugyanis

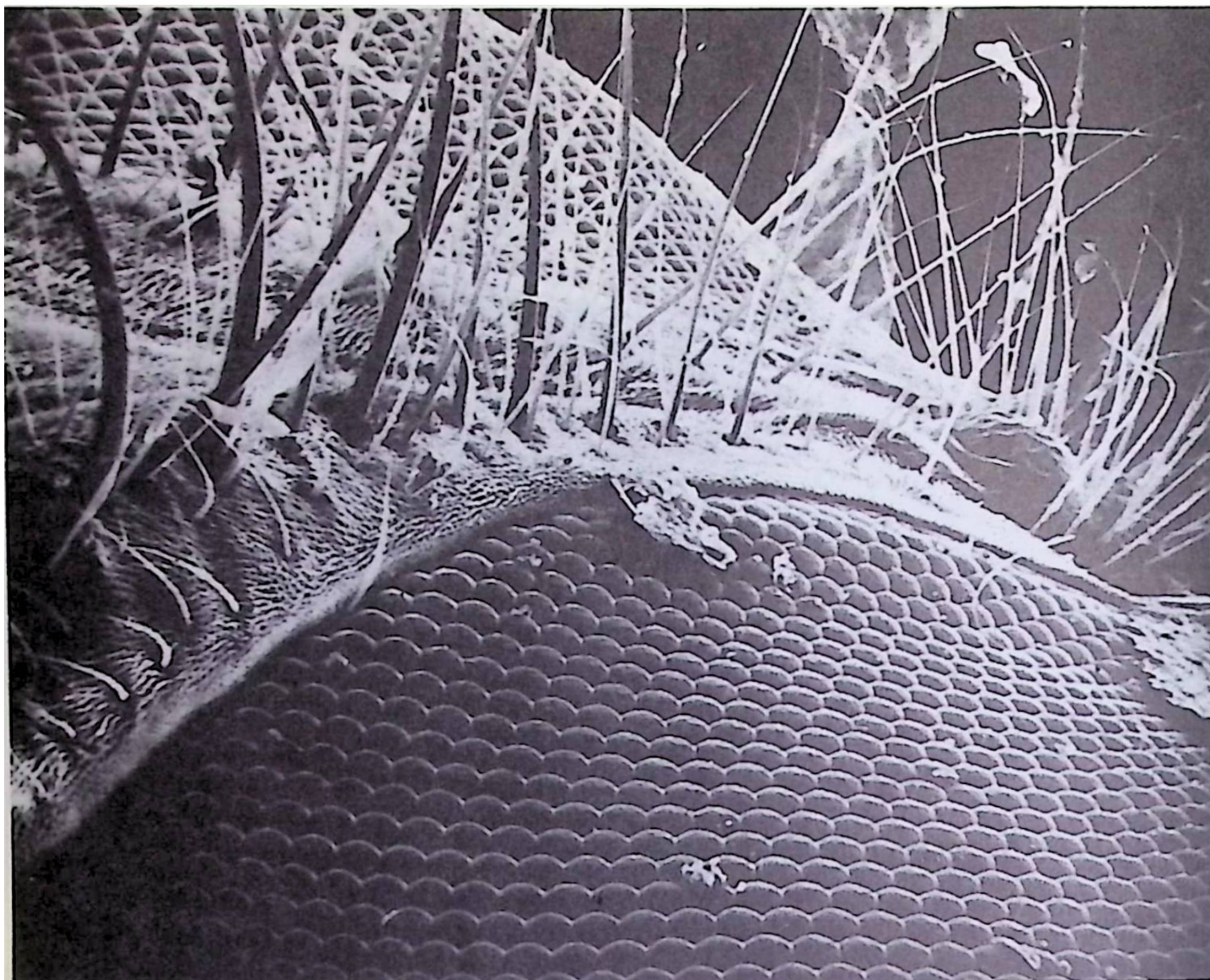





A titokzatos fésűszerv a madarak szemében a látóideghártya sejtjeinek vérellátásáról gondoskodik. De optikai feladatot is ellát: a nap vakító fényét tompítja a madárszemben. Fent a galamb, lent a bagoly szemének függőleges metszete

állandóan ott villog az ideghártyán. Fénye olyan erős, hogy a hártyáról visszaverődő sugarak bevilágítják az egész szemgolyó belsejét. A fésűszerv napernyőként borul a látógödör fölé, így tompítja a vakító fény-árnyék ellentétet.

Ezerszemű rovarok

Aki túlságosan tolakodó, azt mondják rá: „Szemtelen, mint a piaci légy." A hasonlat valóban találó, hiszen a legyek nap mint nap igazolják ezt. De miért olyan szemtelenek? Nyilván természetesnek veszik, hogy nem lehet őket elkapni. Hiába



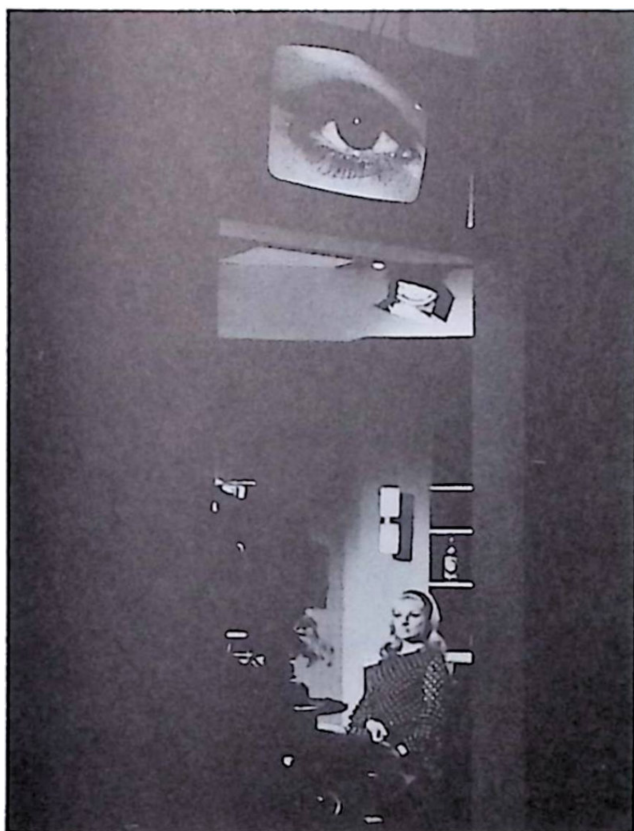
Egyszerű lencsék tömege alkotja a házi légy összetett szemét. A középső V alakú sávon, amely elválasztja egymástól a két félgömb-szemet, érzőszőrök magasodnak. A felvétel térhatású elektronmikroszkóppal készült, 210-szeres nagyításban

próbálunk gyorsan lecsapni valamelyikre. Az utolsó pillanatban könnyedén felröppen, és szélsebesen tovaszáll. Még hátulról is megközelíthetetlen: azonnal észreveszi az óvatos kézmozdulatot. Persze könnyű a légynek! Olyan találmánnyal rendelkezik, amely több mint ötszázmillió éve öröklődik egyre finomodva a rovarok csaknem egymillió fajt felölelő osztályában. Az összetett szem az állatvilág legkülönösebb találmányai közé tartozik.

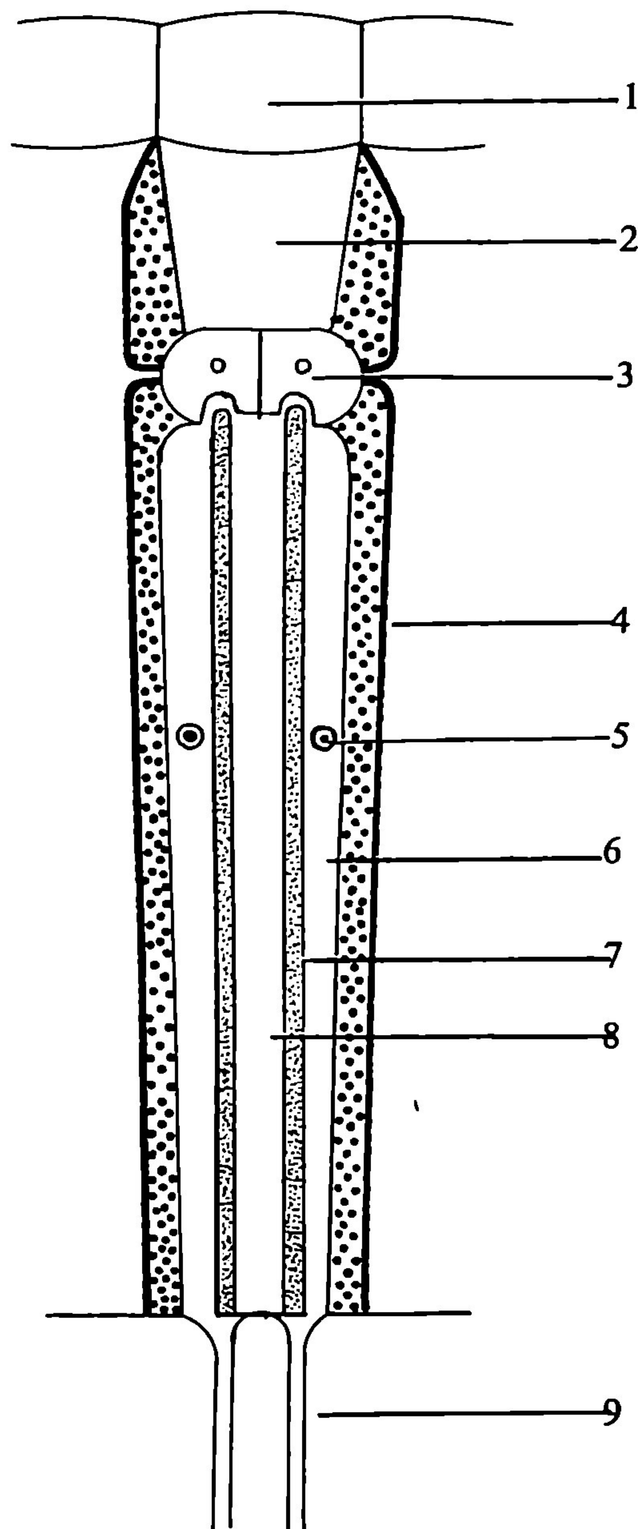
A tv-kamerában egyetlen optikai lencserendszer vetíti a képet a fényérzékeny lemezre. Ezen több mint félmillió parányi pontra bomlik a kép, hogy egy távoli képernyőn ismét egységes egésszé álljon össze. Elvileg olyan tv-kamerát is lehetett volna készíteni, amelyben apró fénygyűjtő lencsék sora bontja fel a képet. Csakhogy technikai szempontból ez túlságosan bonyolult megoldás. A rovarok mégis ezt választották.

Két félgömb alakú szemük parányi szemek sorából áll. De az elvileg lehetséges tv-kamerához képest a rovarok

szerényebb keretek között dolgoznak: több ezer lencsével is megelégszenek. Ezek az elemi szemek olyan finommechanikai remekművek, amelyekre még korunk mérnökei is elismeréssel pillantanak. Egy-egy 15–40 ezredmilliméter átmérőjű, fényszigetelt csövecskén a kitinburokból kialakult optikai lencse helyezkedik el. Alatta fénygyűjtő kristálykúp, a cső alján pedig egy fényérző látósejtcsoport foglal helyet, amely valamelyik idegroston át küldi villamos jeleit a rovar központi idegdúcába. A légyszem félgömbjében 4-5 ezer ilyen csőkamera (ommatidium) található, a szitakötőében 12–13 ezer parányi távcső sorakozik, a jelenleg ismert rekorder



A rovarok elemi szemeinek sora ugyanúgy bontja pontokra a környezet képét, mint a tv-kamera. A különböző fényerősségű pontokból végül egyetlen képet lát a rovar, ahogyan a televízió képernyőjén is a világító foszforpontok sorából rajzolódik ki a kép

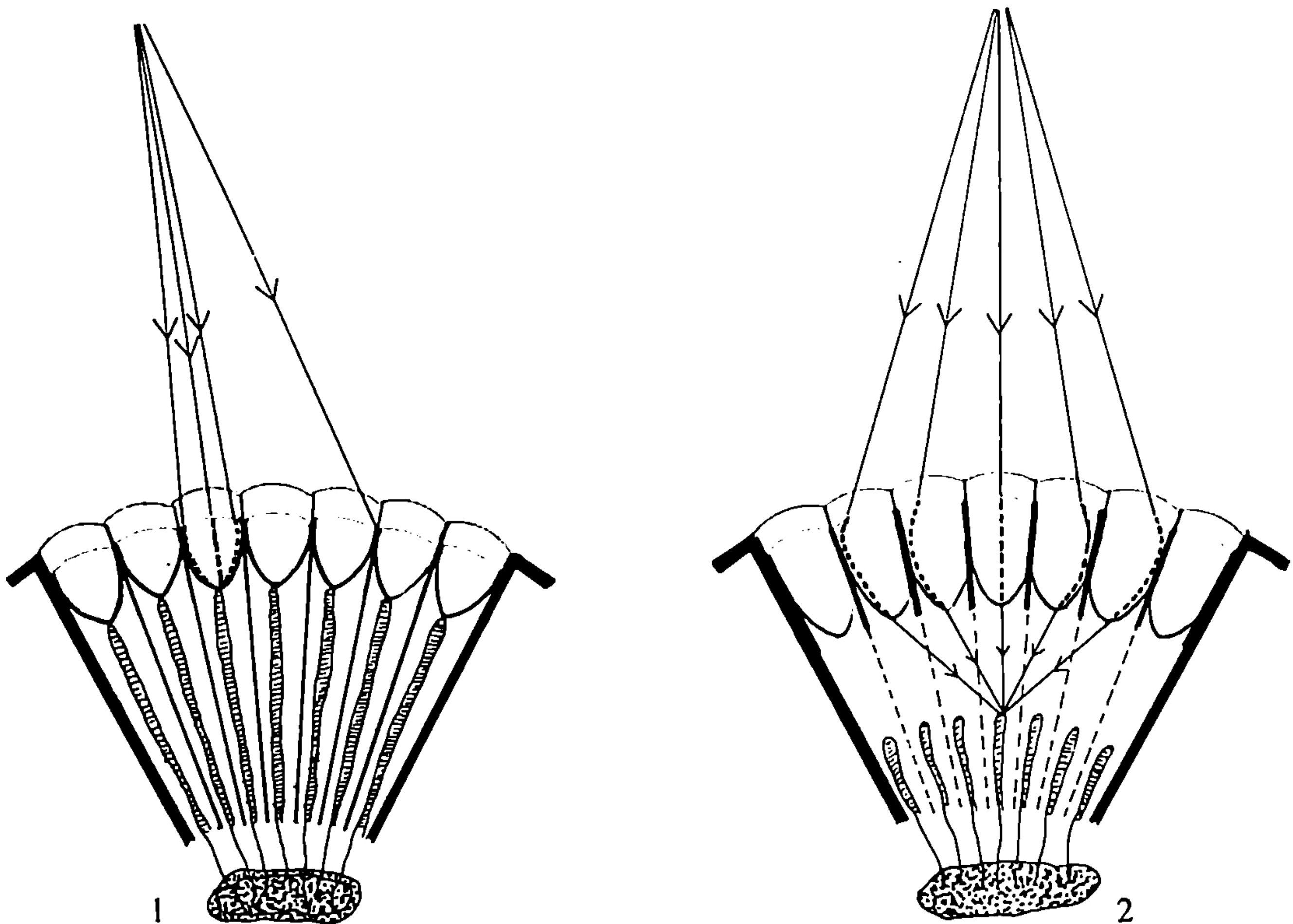


Még korunk technikája sem tud ilyen parányi optikai szerkezetet készíteni, amilyen a rovarok összetett szemének egysége, a fényérzékelő ommatidium. Száz ilyen parányi cső kötege nem vastagabb egy gombostűnél. 1: kitinlencse, 2: kristálykúp, 3: fényvezető sejt, 4: festéksejt, 5: a látósejt sejtmagja, 6: látósejt, 7: fényérzékelő pálcikaszegély (rhabdom), 8: tengelyüreg, 9: látóideg

pedig a temetőbogár 30 ezer ommatidiummal.

A képeslapokban időnként látványos fotók jelennek meg ezzel az aláírással: „Így látja a légy a világot." Parányi képkockák sorakoznak egymás mellett, és mindegyikben ugyanaz az éles kép látható – például egy nyíló virág a párizsi Eiffel-torony előtt. Ezek a fényképek teljesen félrevezetőek. Egyetlen rovar sem látja így a világot. Az összetett szem nem parányi képek sorozatát állítja elő, amelyek önállóan is felismerhetők. Hiába van minden ommatidiumnak külön lencséje, a rovar csak egy képet lát, azt is elég homályosan. Minden egyes csőkamerája egy-egy részlet átlagos fényességét érzékeli, s ezekből a képpontokból áll össze az egységes kép, akár a tv-képernyőn.

A kutatók egy részének véleménye szerint minden egyes ommatidiumban fordított kép jelenik meg a környezet parányi részletéről, ahogyan az egyszerű üveglencse is megfordítja a képet. Érdekes, hogy a lencse és a kristálykúp optikai sugármenetét még ma sem ismerik pontosan. Igaz, rendkívül nehéz „lehámozni" egy rovar összetett szemének lencserendszerét. Néhány kutatónak mégis sikerült a bravúros művelet, de a mikroszkópos vizsgálatok sem adtak választ. Annyit mégis szemmel láthatóan bebizonyítottak, hogy az egyszerű lencsék sora alatt egy távoli izzólámpáról



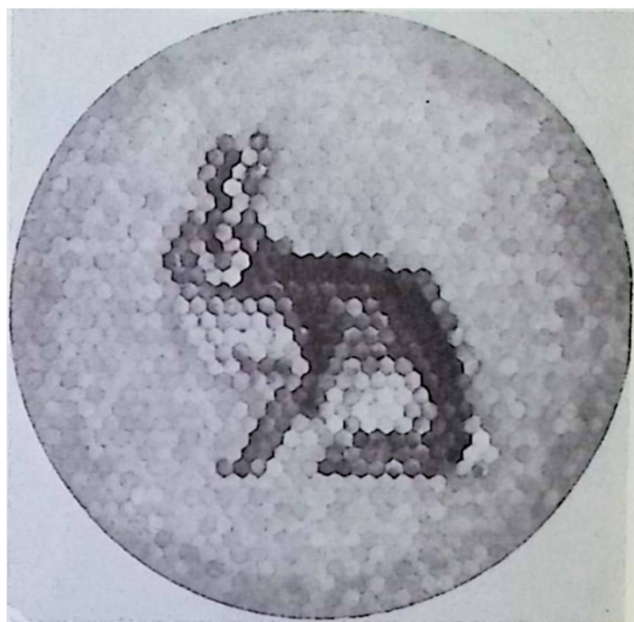
Az összetett rovarszem kétféle elrendezése. A nappali rovarok appozíciós szemet használnak. Ebben minden fényérzékelő pálcikaszegély (rhabdom) csak a felette levő kristálykúpból kaphat fényt (1). Az éjjeli rovarok szuperpozíciós szemében a fényérzékelő pálcikaszegély lejjebb helyezkedik el, ezért több irányból is kaphat fényt, így világosabb képet lát a rovar (2)

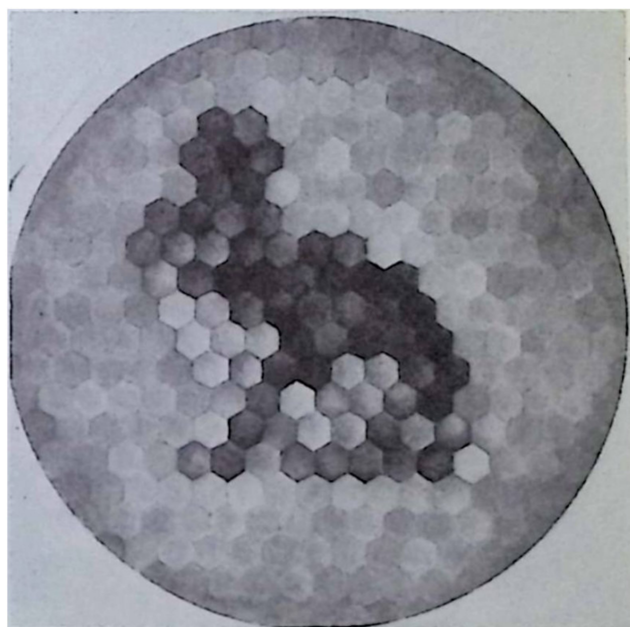
valóban egyetlen kép alakul ki. A képpontok szempontjából tulajdonképpen mindegy, hogyan állnak, hiszen egy szürke korong képe sem változik meg, ha „fejre állítják".

Az összetett szem fényérzékelő látósejtjei kétféleképpen helyezkednek el. Az úgynevezett appozíciós szemben közvetlenül a kristálykúp alatt várja a fényt minden egyes látósejtcsoport, így mindegyik a „saját" szemlencséjének megvilágítását érzékeli. A szuperpozíciós szemben a látósejtek rétege távolabb van a kristálykúpoktól, egy-egy csőkamerából tehát a szomszédos sejtekre is átszökhet a fény. Ezt a megoldást elsősorban az éjszakai rovarok alkalmazzák, mert így „több szem többet lát" alapon egyetlen lencse gyenge fénye több látósejtet ingerel egyszerre.

Az appozíciós összetett szemmel aránylag éles, de fényszegény képet látnak a rovarok, a szuperpozíciós szem viszont világos, de életlen képet ad. Bámulatosan finom módszerrel S. R. Shaw amerikai kutató 1969-ben még azt is megmérte, hogyan oszlik el a fény az egyes látósejtcsoportokon az appozíciós és a szuperpozíciós szemben. Egy háziméh és a folyami rák összetett szemét vizsgálta. 20–30 ezredmilliméter átmérőjű üvegszállal vetített fényt az összetett szem egyes lencséire, és parányi tűelektróddal vezette el a megfelelő látósejtek villamos jeleit. Vizsgálatai alapján kitűnt, hogy a méh appozíciós szeme valóban tökéletes fényszigetelésű. Egy-egy ommatidiumból csak 0,1–1 százalék fény szűrődik át a szomszédos csőszemek látósejtjeire. A rák szeme viszont olyan fényképezőgépnek bizonyult, amellyel még félhomályban is jó képek készíthetők. Egyetlen kitinlencséjének fényén nyolc szomszédos ommatidium látósejtcsoportja osztozik, így a beérkezett fénymennyiségnek csaknem a fele jut a környező sejtekre. A szuperpozíciós szemből tehát erősebb villamos jelek futnak az idegközpontba, ami szürkületben is lehetőséget nyújt az állat tájékozódására.

A rovarok látásának élessége szorosan összefügg a gömbszem szerkezetével. A mozaikkép nyilván annál élesebb lesz,

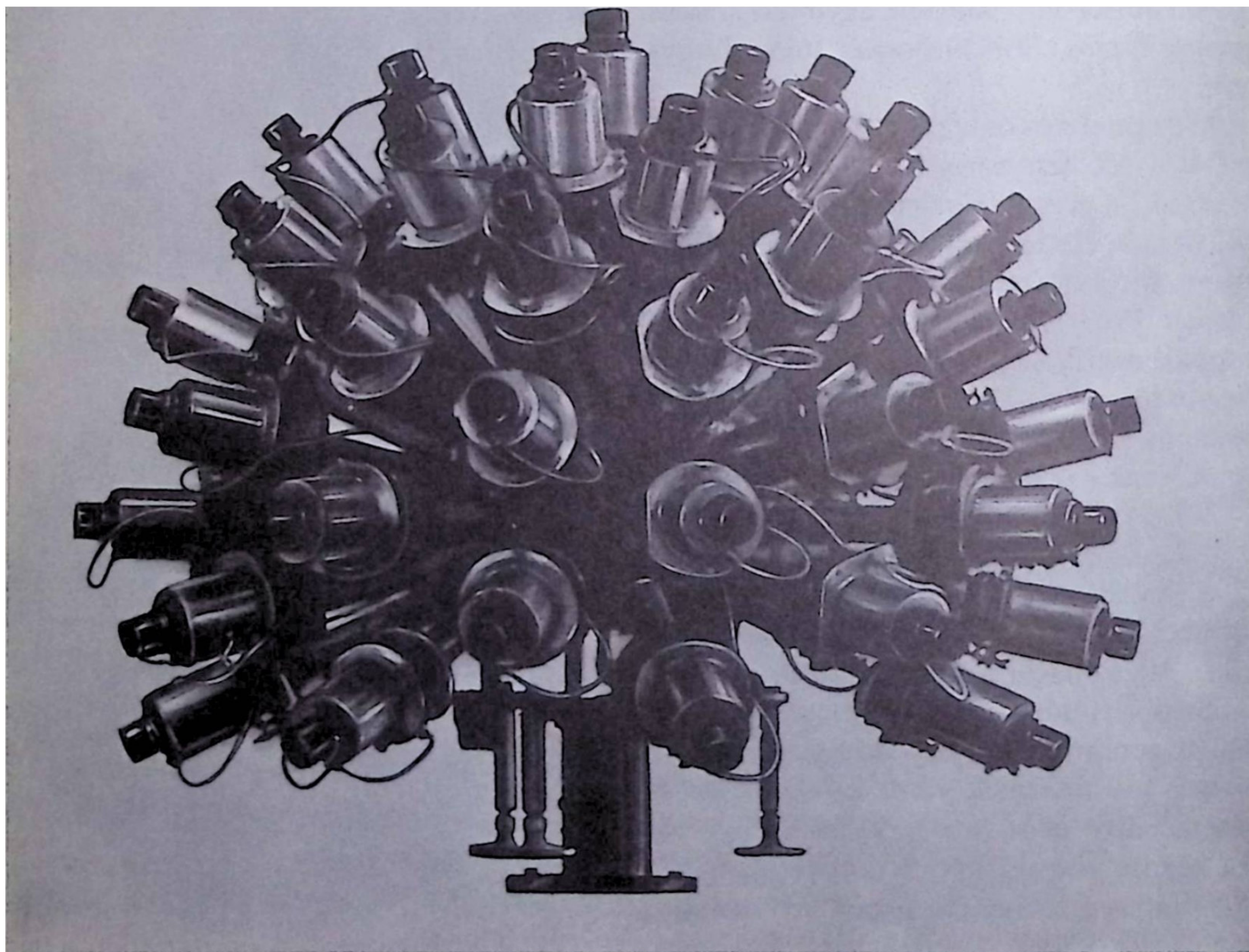




130 cm távolságból a méh ilyennek látja az üldögélő nyulat (fent). Kissé távolabb röppenve, 2 méterről még homályosabbá válik a kép, mert kevesebb elemi lencsére esik a fény (lent)

minél kisebb szöget zár be egymással két szomszédos elemi szem, hiszen annál finomabb részleteket különböztetnek meg a látótérben. H. Baumgärtner német kutató már 1928-ban megmérte a méhek szemén ezt a legkisebb szöget, és 0,90–1,00 foknak találta. A legújabb látásélesség-vizsgálatokból, amelyeket legyek és méhek előtt mozgatott csíkokkal végeztek, pontosan ugyanez az érték adódott. Semmi kétség tehát: a méhek elképesztően rosszul látnak! Ha az ember például 6 méterről felismer egy virágot a réten, a méhnek 10 cm közelre kell jutnia, hogy ő is megtudja, milyen virágról van szó. Ennél távolabbról csak egy elmosódott színfoltot lát. A legyek sem büszkélkedhetnek élesebb látással, sőt ommatidiumaik elhelyezkedése alapján talán még rosszabbul is látnak. Az összetett szem ugyanis nem pontosan gömb alakú. A méhek szemén például vannak olyan részletek, ahol az elemi szemek 4 foknál nagyobb szöget zárnak be egymással.

Ha nem találta volna fel az ember a fényképezőgépet, az állatok szemének ismeretében is összeállíthatta volna. De az állatok birodalmában csak minden tizenhetedik állatfaj szeme működik a



Egyszerre pillant az egész égboltra és a látóhatárra a különleges filmfelvevő gép, amelyet a rovarszem mintájára szerkesztettek 57 elemi kamerából. A Polyvision gömbmozit 1964-ben mutatták be a svájci Lausanne-ban

fényképezőgép mintájára. A nagy többség összetett szemet használ! Miért ragaszkodtak hozzá a rovarok a törzsfejlődés folyamán? Nyilván valami előnye van számukra. Kipróbálhatjuk, hogyan látják a világot, ha egy köteg műanyag szívószálon át nézzük környezetünket. A kép elég homályos. Ha azonban ide-oda mozgatjuk a szálköteget, a kép egyszerre élessé és felismerhetővé válik. Ez tehát az összetett szem titka: mozgás közben használható. Akár a méh repül, akár hozzá képest mozog valami.

A kétéltűek, a hüllők és a madarak is könnyen érzékelik a gyors mozgásokat, de nem olyan nagy a látóterük, mint a rovaroké. Ha a méhet egy planetárium közepére ültetnék, nem kellene forgatnia a fejét, hogy a mesterséges égbolton sorban szemügyre vegye a csillagokat. Egyszerre látná csaknem az egész égboltot. S ha hirtelen egy hullócsillag tűnne fel, sokkal élesebben látná, mint az állócsillagokat.

E. T. Burtt és W. T. Catton angol kutatók ezt közvetlen méréssel is bebizonyították. Egy sáska látóidegsejtjeinek villamos jeleit vezették el, miközben az állat különféle mozgó tárgyakat figyelt. A sáska hatszor távolabbról ismerte fel a mozgó tárgyat, mint az állót. A méh is hatszor élesebben látja tehát a virágokat repülés közben, mint álló helyzetből, ami kétségtelenül segítséget nyújt számára a nektárforrások felderítésében.

Az összetett szemek szerkezete már a mérnököket is megihlette. A repülőgépek sebességét eddig csak a környező levegőhöz viszonyítva tudták mérni. Változó erősségű szélben azonban nem pontosak az adatok. Egy újfajta sebességmérő műszer ezért a méhek összetett szemének mintájára működik. Az egyik „gépszem" a repülő orrában, a másik a farkán helyezkedik el. Mindkét szem a földet nézi,



Repülés közben mutatkozik meg az összetett szem nagy előnye. Ami mozog a rovar előtt, sokkal könnyebben felismerhetővé válik, mint nyugalmi helyzetben. A levegőben szállva ez a sáska például hatszor messzebbre lát élesen

miközben elektronikus áramkörök mérik azt az időt, amely alatt a talaj világos és sötét foltjainak képe az egyik szem látóteréből a másikba suhan. Ha ezt az adatot arányba állítják a gép magasságával, könnyen meghatározható a gépnek a földhöz viszonyított valódi repülési sebessége. A rovarok is ezt a módszert alkalmazzák, így mindig tudják, milyen szélben érdemes még repülniük. Ha a szembefújó szél eléri repülési sebességüket, jól érzékelik, hogy egy tapodtat sem mozdul szemünkben a kép. Ilyenkor inkább leszállnak, és megvárják, amíg a szél eláll.

A régi idők mozijában még 16 filmkocka pergett le másodpercenként, ezért tűnik olyan mulatságosan darabosnak

az emberek mozgása a hajdani híradó felvételeken. Korszerű filmvetítőink 24 kockát vetítenek másodpercenként, így a felvillanó állóképek már folyamatos mozgássá olvadnak össze a szemünkben. Ebből a szempontból a rovarok érdekes képességgel rendelkeznek. Ha valamelyikük moziba menne, nagyon unatkozna, mert csak az állóképek sorát látná. Sőt az esti villanyfénynél röpködő légy is talán azon csodálkozik, miért alszik el a lámpa másodpercenként ötvenszer. Az összetett szemek látósejtjeiről elvezetett villamos áramok ugyanis azt mutatják, hogy a rovarok rendkívüli „időszeletelő" képességgel rendelkeznek. H. Autrum mérései szerint a dongólégy például másodpercenként 300 felvillanást képes megkülönböztetni, de a háziméh sem marad el sokkal 250–265/mp-es érzékelésével, a szitakötő pedig 220 képet különböztet meg. Más mérések szerint a csótányok már a „lassú szeműek" közé tartoznak 45–60/mp-es eredményükkel. Ők már elégedettek lennének, ha egy filmben 65 kocka peregne másodpercenként, mert folyamatos mozgást látnának.

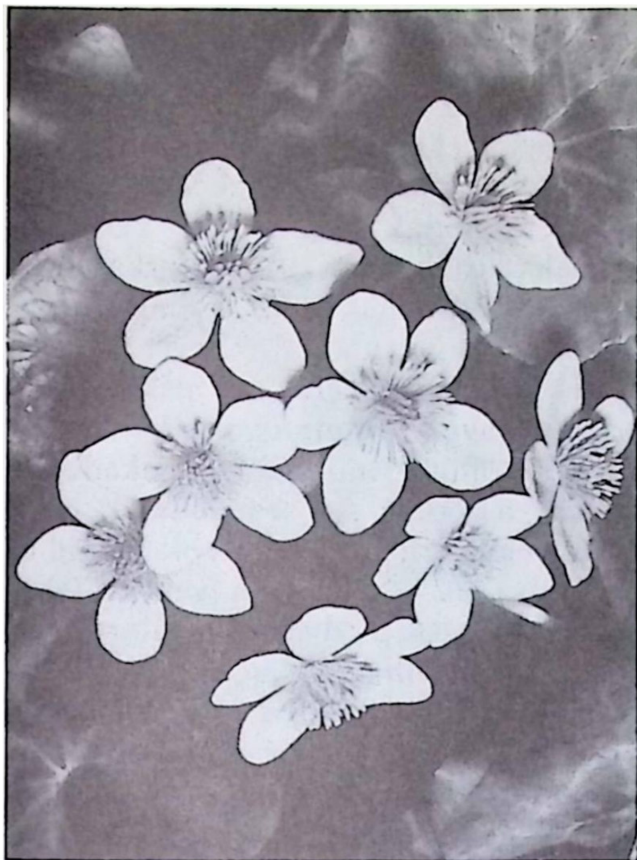
Néha a lassú mozgás felismerése is életbe vágó lehet az állat számára, hiszen az ellenség sokszor lopakodva közeledik. Az összetett szem ebből a szempontból sem hagyja cserben az ízeltlábúakat. A kutatók mérései szerint az összetett szemű tarisznyarák egy faliórára pillantva nemcsak a nagymutató mozgását látja, hanem még az órajelző kismutató járását is érzékeli. Sőt ennél négyszer lassúbb mozgásokat is észrevesz!

Itt a piros! Hol a piros?

Milyen gyönyörűek a piros trópusi virágok! Ezer szín közül is ezek vonzzák leginkább az ember tekintetét. A méhek viszont rájuk sem hederítenek! Ha a könnyedén lebegő kolibrik nem látogatnák meg ezeket a virágokat, nem jutnának hozzá a megtermékenyítő virágporhoz. De miért nem mutatnak érdeklődést a méhek a piros virágok iránt? Mert nem látják a vörös színt! Szemük érzéketlen a 600 nm-nél nagyobb hullámhosszúságú fénysugarakra (nm = nanométer, a méter ezermilliomod része). Holott az ember még a 760 nm-es vörös sugarakat is érzékeli. De amit a méhek elvesztettek a színképtartomány egyik végén, bepótolták a másikon. Nemcsak az ibolyakék színeket veszik észre, hanem az ibolyántúli sugarakat is, amelyek számunkra már láthatatlanok.

A piros pipacsok még így sem maradnak beporzatlanok, mert a vörös sugarakon kívül az ibolyántúli sugarakat is visszatükrözik a napfény szivárványszín keverékéből, s ezzel vonzzák a méheket. A fénylőn sárga gólyahír szinte játszik a fénnyel: szirmai elnyelik, porzói pedig visszaverik a napfény ibolyántúli sugarait. Így ha arra száll a méh, csillogó ibolyántúli gyűrűt lát a virág közepén.

Még a rovarok udvarlásában is szerepet játszik a különös színlátás. Van egy lepkefaj, ahol a hím és a nőstény a mi szemünkben egyformán zöld színűnek tűnik. De a lepkék szemében nem! Ibolyántúli fényben mindketten más színűnek látszanak, azt is mondhatnánk, hogy a lány szőke, a fiú meg barna, így már távolról felismerik egymást. A fehér lepkék lebbenő világos szárnyai láttán sem tudja megmondani a leggyakorlottabb biológus sem, hogy melyik a hím, és melyik a nőstény. A legújabb kutatások szerint a hímek felső szárnyának valamelyik része visszaveri a napfény ibolyántúli sugarait, a nőstényé viszont nem. Egy libegve közeledő lepke láttán tehát egy nőstény már messziről megállapít-





Ahogyan az ember látja a gólyahír virágait (balra), és ahogyan a rovarok (jobbra) T. Eisner amerikai professzor fényképei szerint. Az utóbbi felvétel ibolyántúli sugarakra érzékeny fényképezőgéppel készült. Nemcsak a porzók nyelik el ezeket a rövid hullámhosszúságú sugarakat, hanem a szirmok töve is. Ebből alakul ki a sajátságos mintázat

hatja, hogy egy barátnő vagy egy udvarló száll-e felé.

Minthogy a Nap fehér fényében a zöldessárga színű sugarak záporoznak a Földre a legnagyobb energiával, az ember színérzékenysége is úgy alakult, hogy az 560 nm hullámhosszúságú zöldessárga színből veszi észre a legfinomabb árnyalati különbségeket. Színlátásunk tartománya egyébként a 360 nm hullámhosszúságú ibolyakék sugarakkal kezdődik, és a kék, zöld, sárga színen át tart a 720 nm hullámhosszú vörös színig. Noha az ibolyántúli sugarakat nem látjuk, bőrünk ezektől a láthatatlan sugaraktól barnul le.

Az erdei hangyák nálunk valamivel sötétebb színben látják a világot.



Egy hangya portréja 170-szeres nagyításban. Elsősorban tapintással és illatok alapján tájékozódik, ezért összetett szeme aránylag kicsi. Akár a többi rovar, érzéketlen a vörös színre, viszont kitűnően látja az ibolyántúli sugarakat

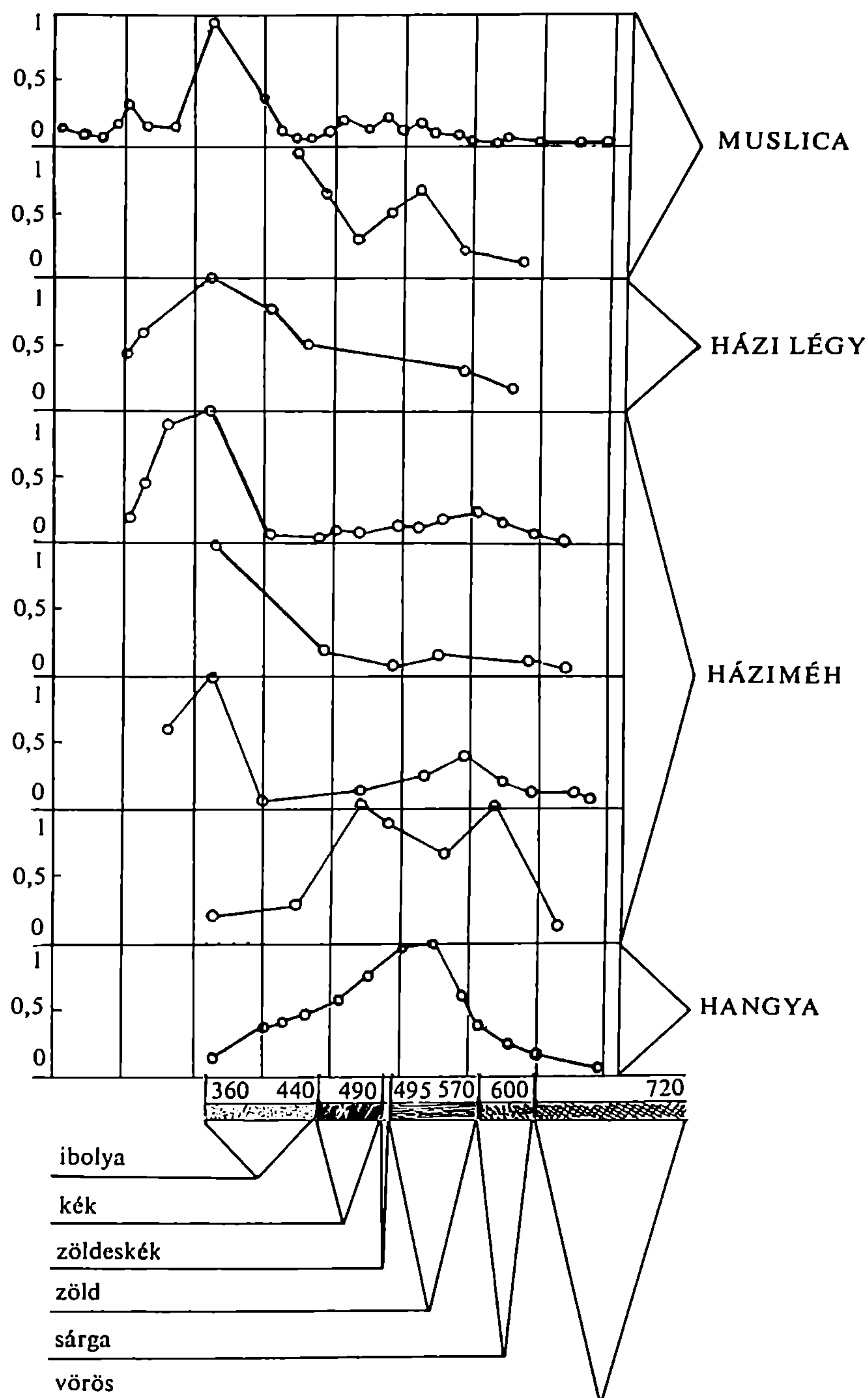
W. Treen karl-marx-stadti kutató hallatlanul finom elektródokkal végzett méréseiből tudjuk, hogy az 510 mm-es tiszta zöld színre a legérzékenyebbek. A vörös színárnyalatokat a többi rovarhoz hasonlóan ők sem látják, de érzékenységi tartományuk hozzánk hasonlóan a sötét ibolyakék színnél ér véget. Még a sárga színnek is négyszer fényesebbnek kell lennie a leghalványabb zöldnél, hogy egyáltalán észrevegyék.

T. H. Goldsmith amerikai kutató villamos mérései szerint a háziméhek színérzékenységi csúcsa a 400 nm hullámhosszúságú sötét ibolyakék egyik árnyalatában van. K. Daumaer és E. Heintz vizsgálatai viszont azt mutatják, hogy ez a csúcs éppen a számukra még látható ibolyaszín határán mozog. El sem tudjuk képzelni, milyen furcsának látják a méhek a világot! A 320–340 nm körüli ibolyántúli sugarakat két-háromszor könnyebben észreveszik, mint a kéknél világosabb színeket. Valószínű, hogy egy égő kvarclámpa sokkal vonzóbb látvány számukra, mint a legtündöklőbb piros tulipán.

A halak színes látásához sem fér kétség, hiszen a párkeresés időszakában többek között ragyogó színeikkel vonják magukra a másik nem figyelmét. Ugyanígy pompáznak a madarak is, sőt a kutatók véleménye szerint az a tény, hogy a levegő lakóinak szemében csak színérző csapok vannak, valószínűleg döntő segítséget nyújt számukra a távoli éleslátásban a színes részletek megkülönböztetésével. A békák és a gőték a legújabb vizsgálatok szerint ugyancsak különbséget tesznek a színek között, de a zöld szín többet mond nekik, mint a kék. A sárga és a vörös színre ügyet sem vetnek, mert érzéketlenek ezekre a hullámhosszúságokra. Az emlősállatok is megkülönböztetnek bizonyos színárnyalatokat, de csak a majmok rendelkeznek kifejezetten jó színlátással. Érdekes, hogy még a „napszemüveg" sem ismeretlen találmány az állatvilágban. A madarak szemének ideghártyájában színszűrő olajcseppek találhatók, amelyek valószínűleg kissé letompítják az ég harsány kékjét, és kiemelik a többi színt, így még tarkábbnak és részletdúsabbnak látják a világot, mint az ember.

Maxwell, a nagy elméleti fizikus 1859-ben látványos bemutatóval ejtette ámulatba az angol tudományos akadémia tagjait. Kísérlete azt szemléltette, hogy három egyszerű szín – a vörös, a zöld és az ibolyakék – egymásra vetítve fehér színt ad, s ebben a szivárvány valamennyi színe megtalálható. Ugyanígy három alapszínű festékből bármilyen szín előállítható, csak a keverési arányt kell jól megválasztani. Tulajdonképpen ez a felismerés teremtett alapot a színes fényképezésnek is. Ma már a 0,2 mm vastag fényérzékeny színesfilm-bevonatban öt réteg húzódik: legfelül a kék fényre érzékeny szemcseréteg, alatta a sárga színszűrő hártya található, amely a továbbhaladó fényből elnyeli a felesleges kék sugarakat, majd a zöld színre, alatta pedig a vörös színre érzékeny réteg helyezkedik el. Végül az utolsó sáv a megmaradt fényt is elnyeli. Ha fényképezés után a filmet előhívják, és a festékszemcséket rögzítik, kész a ragyogó színes diapozitív.

A kutatók egyre több bizonyítékkal támasztják alá azt a feltevést, hogy az állatok hasonló módon háromféle festék fényelnyelő hatásának köszönhetik színérzékenységüket a teljes színképtartományban. W. B. Marks amerikai kutató például az aranyhalak szemének látósejtjeiben háromféle színérzékelő csapot fedezett fel. Ezek külön-külön a vörös, a zöld és a kék színre érzékenyek, de nem egyenlő mennyiségben találhatók az



Furcsa módon észre sem veszik a piros színt a rovarok, viszont az ibolyántúli sugarakat – amelyek számunkra láthatatlanok – éppúgy érzékelik, mint a szivárvány más színeit. A táblázat függőleges értékei 0-tól 1-ig mutatják a kísérletek során mért válaszok százalékát. (Az egyes pontok azt a színt jelzik, amellyel a kutatók az egyes rovarokat megvilágítva vizsgálták)

ideghártyán, hanem 2:4:1 arányban, tehát két vörösérzékelő csapra négy zöldérzékelő és egy kékérzékelő jut. Így könynyen elképzelhető, hogy az aranyhal szeme a zöld színnek megfelelő hullámtartományra a legérzékenyebb. D. Burkhardt és H. Autrum német kutatók viszont a dongólegyek családjába tartozó rovarok összetett szemét vizsgálták, s egy-egy csőkamerában 5 zöld, 1 kék és 1 sárgászöld színre érzékeny látósejtet találtak. Ez nincs ugyan összhangban a legyek ismert színérzékenységi hullámtartományaival, de arra utal, hogy az állatok szemében valamennyi szín a három alapszín-érzékelő látósejt villamos összjátékából válik felismerhetővé.

Ha leszáll az éj

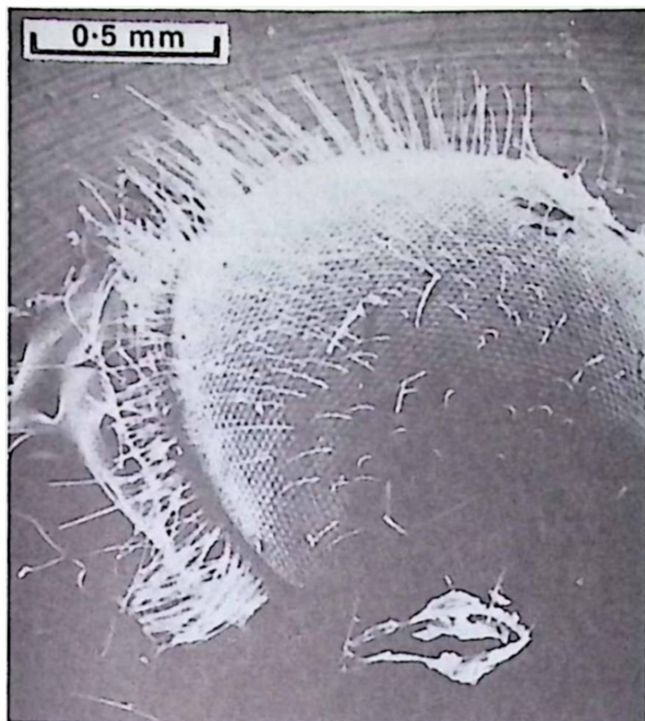
Sem ember, sem állat nem lát teljes sötétben. Még az éjjeli állatok sem. De hol van teljesen sötét a természetben? A Hold lámpása állandóan világít, fénye még a felhőkön is átdereng. Azok az állatok, amelyek a napfény eltűnése után még nem térnek nyugovóra, vagy éppen akkor kelnek, a törzsfejlődés évmilliói alatt olyan különleges fényképezőgépre tettek szert, amely a leghalványabb fénysugarat sem hagyja elveszni, hogy minél világosabb kép keletkezzék a szemben.

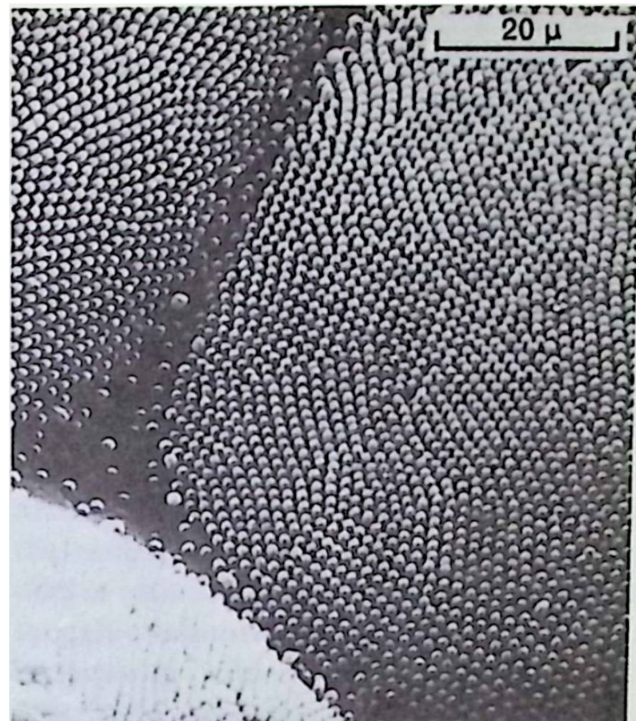
Szürkületkor teljes objektívnyílással kell fényképezni. Ugyanígy tágul ki az állatok pupillája is. A technika alkotta fényrekesznek csak az a hibája, hogy amikor nappali verőfényben ezer-tízezer milliószorosra növekszik a fényerősség, nyílása nem szűkíthető eléggé. Az éjjeli állatok jobb fényrekeszt használnak. Ez a tág köralakból keskeny réssé szűkíthető, sőt elzárhatja teljesen a fény útját. Az életmód azonban rányomja bélyegét a pupillára is: a vadállatok szemében függőlegesen zárul össze, a növényevők, a patások szemében viszont vízszintes rést alkot, így nem korlátozza az életfontosságú nagy látóteret.

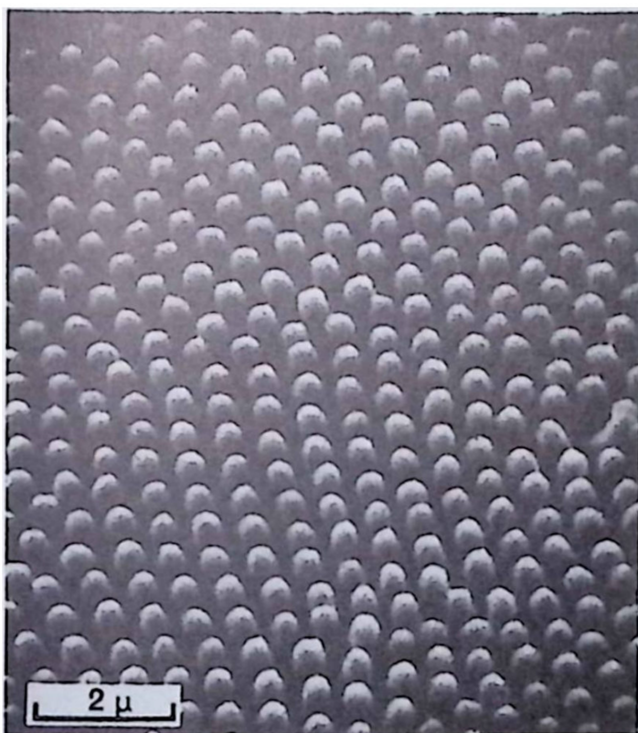
A tigrisvadászok sokat tudnának mesélni az éjszakai szemekről. Nem éppen kellemes érzés, amikor néhány lépés távolságból zöldesen világító, kísérteties szempár tűnik fel. De nem kell ezért a látványért a dzsungelbe menni. A macskák szeme néha ugyanúgy világít, mint a vadállatoké. Valóban világít? Nem, ez költői túlzás. Csak a ráeső fényt veri vissza, mint a sorompóra szerelt „macskaszem". Az éjjeli állatok szeme ugyanis kétszer használja fel a fényt. Amikor a sugarak elhaladnak a látósejtek mellett, nem nyelődnek el az ideghártya festékrétegében, hanem egy fényvisszaverő rétegbe ütköznek. Ez a tükör (a tapetum) ismét visszaküldi a sugarakat a látósejtek közé, így az állat világosabb képet lát, mint ami a valóság, mert minden látósejt kétszer erősebb megvilágítást kap.

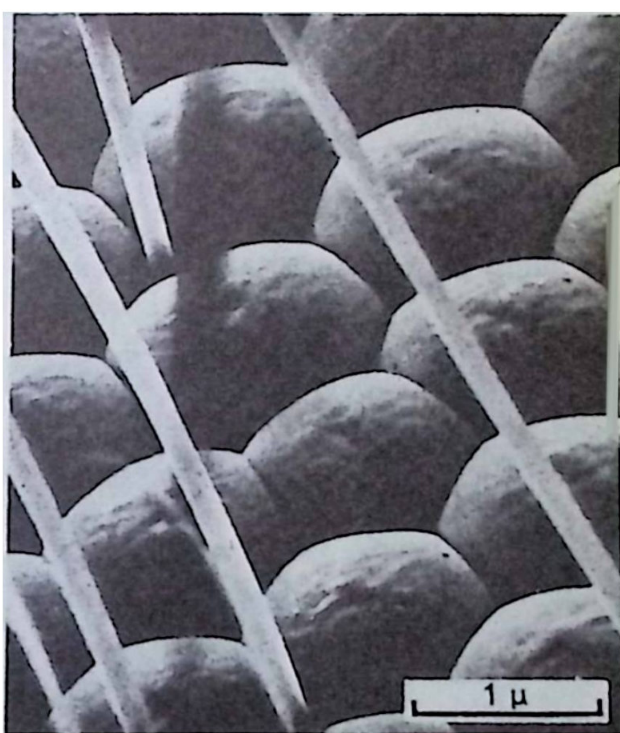
Azt is tudja minden fotóamatőr, hogy szürkületben már használhatatlanok a színes negatívok. Inkább nagy érzékenységű fekete-fehér negatívra kell fényképezni. Az állatok szürkületi látóképessége is attól függ, mennyi fekete-fehér érzékelő pálcika-látósejt helyezkedik el szemükben. A madaraknak például csak „színes negatívjuk" van (ideghártyájukon csupán színérzékelő csapok sorakoznak), ezért válnak vaksivá a sötétben. Nem is várják be az éjszakát, hanem napnyugtával térnek aludni. A bagoly viszont az esti szürkületben indul vadászatra. A törzsfejlődés során szemében a pálcika alakú látósejtek kerültek többségbe, így félhomályban százszor érzékenyebb a szeme, mint az emberé.

Az éjjeli erdőt járó vadászok jól tudják, hogy ha alaposabban akarnak szemügyre venni valamit a félhomályban, akkor









Az éjjeli lepkék évmilliókon át tartó fejlődése páratlan optikai remekhez vezetett. Az összetett szem minden elemi lencséjén átlátszó „tűk" sora alakult ki. Segítségükkel a leggyengébb fénysugarakat is rabul ejti a szem, amikor sötétedni kezd az ég

mellé kell nézniük. A megszokott pillantással ugyanis a kép a szemideghártya éleslátási területére, a sárgafoltra, a foveára esik. De itt nincsenek fényérző pálcikák, csak színérző csapok. A sötétben tehát még egy vakfolttal gyarapodik a szem. A baglyot nem fenyegeti ez a kínos meglepetés, hogy látóteréből eltűnik a kiszemelt áldozat képe. Bármerre nézhet: szeméből hiányzik a csapok alkotta színérzékelő sárgafolt.

A vízben élő állatok érdekesen váltanak át a színes látásról fekete-fehérre. Ha gyengül a világítás, szemük ideghártyájában a csapok hátrahúzódnak, a pálcikasejtek pedig előrenyomulnak. Hasonló fényérzékenység-növelő módszerrel dolgoznak az éjjeli rovarok. Nappal a szuperpozíciós szem minden kis csőkamerájában is közvetlenül a kristálykúp alá húzódva helyezkednek el a látósejtek. Amikor azonban leszáll az este, a fényérzékeny sejtek hátratolódnak. Így minden ommatidiumból a környező látósejtekre is jut fény.

A legújabb elektronmikroszkópos felvételek alapján még egy furcsa dolog derült ki az éjjeli rovarok 15–40 mikron (a mikron a méter milliomodrésze) átmérőjű kitinlencséiről. Felületük nem olyan sima, mint ez egy optikai lencsétől elvárható! Parányi dudorok borítják, csöppnyi cornea-tűk, ahogyan felfedezőjük, C. G. Bernhard svéd kutató elnevezte őket. Mindössze 0,1 mikron vastag és 0,2 mikron magas átlátszó dombocskák. Egy-egy ommatidium kitinlencséje az összetett szemen alig nagyobb egy hajszál keresztmetszeténél, de ha milliószorosan felnagyítanánk, 15–40 méter átmérőjű óriás üveglencse lenne belőle. Most képzeljük el, hogy valaki 10 cm magas üvegpoharakat ragaszt erre a lencsére, de a poharak is tömör üvegből vannak. Ezek a cornea-tűk!




Minél gyengébb fény éri az újfajta napszemüveget, annál jobban kivilágosodik. Így mindig változatlan mennyiségű fényt enged át.
A Corning-üveggyár lencséjéhez hasonlóan az éjjeli rovarok szeme is ősidők óta így alkalmazkodik a félhomályhoz

Nyoma sincs a cornea-tűknek a nappali rovarok elemi szemlencséin. A szitakötők, a méhek, de még a bogarak kitinlencséinek felülete mindig tökéletesen sima.

Miért van szükségük az éjjeli rovaroknak ezekre a különös „recés" lencsékre? A kutatók sejtették, hogy a különös domborzat egy-egy kitinlencse fénygyűjtő képességével kapcsolatos. De lehetetlen feladat lett volna „lereszelni" a dudorokat, hogy a sima felületű lencsével végezzenek összehasonlító méréseket. Ezért méhviaszból és parafinból felnagyított modellt szerkesztettek, és ennek arányában a fényhullámokat is mikrohullámokkal helyettesítették.

A besugárzási kísérletek meglepő eredményre vezettek: a cornea-tűk javítják a kitinlencsék fényelnyelő képességét! Minden optikai üveglencsének az a nagy hibája, hogy a fény egy részét visszaveri. Ezért vonják be leheletvékony réteggel a fényképezőgépek objektívját, mert ez az úgynevezett T-réteg átmenetet képez a levegő és a lencse törésmutatója között.

Így kevesebb fényt tükröz vissza a felület, több fény haladhat át a lencsén.

Az éjszakai rovarok más megoldást választottak, s a kutatók matematikai levezetései alapján kitűnt, hogy a tűk mérete, egymástól való távolsága megdöbbentően egyezik az elméletileg számított ideális értékekkel. Ezekről a lencsékről a lehető legkevesebb fény tükröződik vissza, és a lehető legtöbb fény halad át rajtuk. Ilyen módon az éjjeli lepkék, a recésszárnyúak és a síkszárnyúak rendjébe tartozó rovarok körülbelül 5 százalékkal több fényt gyűjtenek szemükbe, mint más rovarok. Ez a „szabadalom" tehát szintén javítja látásukat a félhomályban.

Ellenőrző mikroszkópos vizsgálatokkal is meggyőződtek arról a kutatók, hogy például a háziméh szeme sokkal több fényt ver vissza, mint egy éjjeli rovaré. S ennek nemcsak a látásban, hanem a rejtőzésben is fontos szerepe van. A nappal alvó lepkék nagy veszélyben forognak, ha szemükön megcsillan a fény, a cornea-tűk viszont elősegítik tökéletes rejtőzködésüket, mert a leggyengébb áruló sugarat is elnyelik.

A rovaroknak ezt a találmányát ma



Holdvilágos éjszakán 500 méter távolságban egy emberalak már láthatatlan. A holdfénytávcsővel azonban felismerhető. Elektronikus optikai egysége 45000-szeresen erősíti fel a fényt

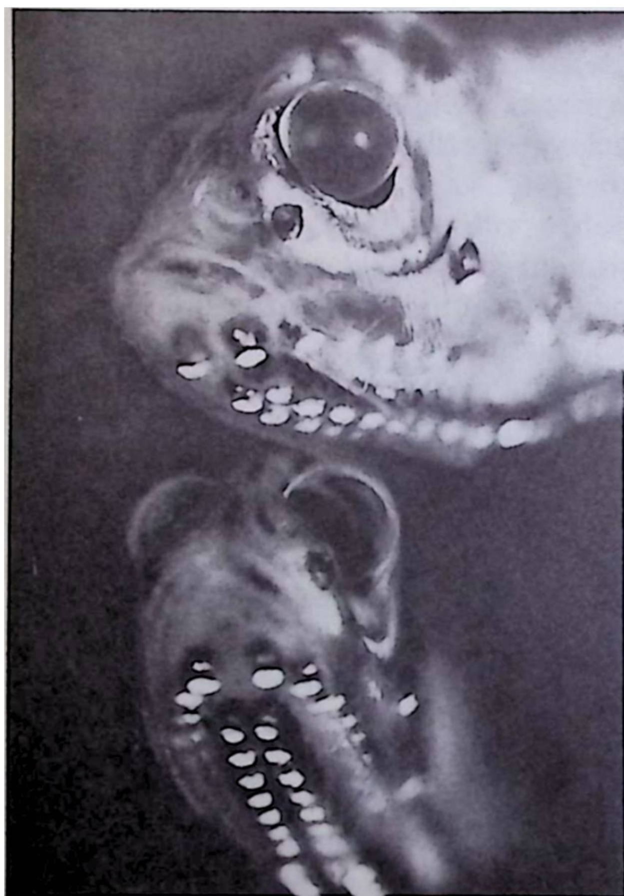
még nem utánozza a technika, de a korszerű tv-kamerák segítségével már sikerült olyan holdfénytávcsövet készíteni, amely a leggyengébb fénysugarakat is felerősíti villamos jelek alakjában, s a készülék keresőjében már nappali világosságú kép jelenik meg. Sőt korunk technikája a hősugarakat is felhasználja. Ezek a kamerák még koromsötétben is kitűnően látnak, mert annál világosabb kép keletkezik bennük, minél több hőt sugároz egy tárgy vagy egy élő test. Az állatok éjszakai viselkedésének megfigyelésére mégsem kell ilyen bonyolult berendezést használni. Elég egy vörös lámpát meggyújtani.

Lámpagyújtás luciferinnel

Meleg nyári estéken az előkelő japán éttermek tulajdonosai azzal kedveskednek vendégeiknek, hogy ezerszámra hintik szét a szentjánosbogarakat, s a levegőben villogó apró lámpások különös-romantikus hangulatot keltenek. A keleti néphit még ma is azt tartja, hogy ezek az apró lámpások a szegény diákok mécsesei. Valóban olcsó kis mécsesek, de bionikai szempontból rendkívül érdekesek, mert egy hasznos szabadalom titkát őrzik: a hideg fény előállításának legtökéletesebb módszerét. Persze a szentjánosbogarak nem egyedülállóak ezzel az állatvilágban. Dél-Amerika keleti partvidéke mentén hajózva Darwin már a múlt században ezt írta naplójába: „Mikor a Platától kissé délre vitorláztunk, egy sötét éjjelen csodás és gyönyörű látványban részesített a tenger. Friss szellő fújdogált, s a felület minden része, melyet nappal tajtékozni láttunk, most halvány fényben izzott. A hajó elöl két folyékony foszfortarajt vágott, hátul meg tejfehér nyomot hagyott. Ameddig a

szem ellátott, minden hullámhegy világos volt, s a horizont fölötti ég az eleven lángok visszavert fényétől szintén nem volt olyan vaksötét, mint a fejünk fölött."

A tengeri tűzijátékot rendszerint parányi véglények idézik elő, de se szeri, se száma az állatvilágban a különféle eleven fényforrásoknak, amelyeknek egyetlen közös tulajdonsága, hogy hőfejlődés nélkül bocsátják ki a fényt. Bizony messze elmarad ezektől a mi jó öreg izzólámpánk! A felhasznált villamos energiának mindössze 2 százalékát alakítja látható fénnyé, legnagyobb részét, 65 százalékát láthatatlan hősugarak alakjában szórja szét, a maradék 33 százalék sugárzással pedig az üvegburát melegíti.



A mélytengeri Vinciguerria halfaj a hasi oldalán hordja világító jelzéseit. A pontok sorában vegyi reakció útján keletkezik a hideg fény – ez a biolumineszcencia

Érthető, hogy a kutatókat régóta nyugtalanítja az állatok keltette hideg fény – a biolumineszcencia – problémája. Furcsa módon már egyes sejtek is képesek fénykibocsátásra, ez a legelterjedtebb világítási módszer. Az úgynevezett fotociták rendszerint a halak bőrébe ágyazva helyezkednek el, s olyan jellegzetes díszkivilágítást adnak, mintha éjszakában úszó sétahajó volna a hal. Más esetekben a táplálkozást segíti ez a fény. A kardfogú viperahalnak például a felső szájpadlásán sorakozik 350 apró lámpácska, s minthogy a halak – ma is megfejthetetlen módon – vonzódnak a fényhez, csak a száját kell kitátania, hogy beszállingózzanak rajta a kíváncsi áldozatok. Más víziállatok valóságos zseblámpát hordanak maguknál, amelyben a világító sejtek mögött fénytükröző felület, előtte pedig színszűrő és kristálylencse található.

Egyes szépia- és tengerikagyló-faj hideg fényű oldatot képes kibocsátani magából, és ez világító felhőként lebegve zavarja meg támadóját. Bizonyos halak viszont világító baktériumokat tűrnek békésen, így gondoskodnak maguknak megfelelő fényforrásról. Ezek a milliméter ezredrészénél nem nagyobb baktériumok csak gyenge fényt bocsátanak ki, ötventrilliót kell összegyűjteni belőlük, hogy egy gyertya fényével vetekedjenek. Az édesvízi állatok, néhány kivételtől eltekintve, nem világítanak, bár sokszor közeli rokonságban vannak azokkal a fajokkal, amelyek a tengerben élve hideg fényt bocsátanak ki.

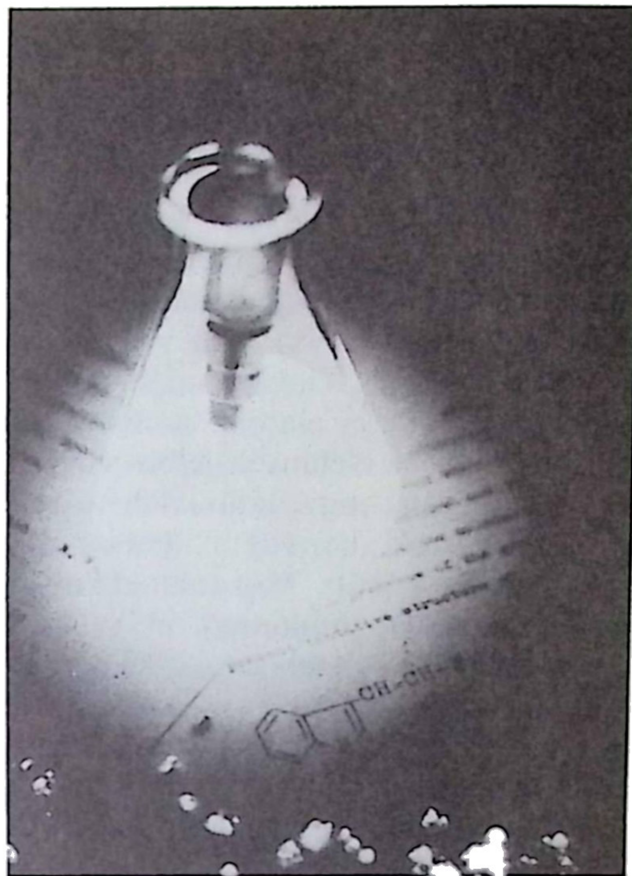
A biolumineszcencia titkának megfejtésében R. Dubois francia professzor tette az első tapogatózó lépéseket a múlt században. Kimutatta, hogy nemcsak a fúrókagylók, hanem hidegvizes kivonatuk is néhány percig világít. A különös anyagot, amely a fényt kibocsátja, a bibliai fényhordozó Lucifer nevéről luci-

ferinnek keresztelte el. Minthogy a vegyi fénykeltés mindig oxidáció következménye, így a luciferin is oxigénnel egyesülve bocsát ki fényt. De a víz vagy a levegő oxigénjével nem hajlandó rögtön egyesülni, csak akkor, ha egy másik anyag, valamilyen katalizátor is jelen van, amely rábírja a kémiai reakcióra. Ezt az anyagot, bár Dubois nem ismerte összetételét, elnevezte luciferáznak.

A biokémikusok vizsgálatai szerint sokféle luciferin létezik. Mindegyiknek más a vegyi összetétele, amit kibocsátott fényük színképelemzése árul el. Csak a hatvanas évek elején sikerült a világon először két japán kutatónak vegytiszta kristályos alakban is előállítani luciferint. Ehhez több mint négyezer világító halat dolgoztak fel, hogy egy tűhegynyi anyagot kapjanak, amely már behatóbban elemezhető.

A szentjánosbogarak luciferinjének szerkezeti képlete ma már pontosan ismert. Ez az anyag csak akkor világít, ha a potroh idegnyalábjából villamos kapcsolási jelzés fut a „lámpába". Ilyenkor az idegvégződések az acetilkolin nevű vegyületet bocsátják a fénysejtekbe, ennek hatására a luciferin más vegyületek gátló hatása alól felszabadulva reakcióba lép a légzőcsöveken odaszállított oxigénnel, és világítani kezd. E villogó jelzések alapján a párkeresésre induló rovarok könnyen felismerik egymást az éji sötétben.

A luciferin oxidációja a leggazdaságosabb fénykeltő mód az élő természetben: minden egyes luciferinmolekula elbomlásakor egy foton keletkezik (a fény legkisebb energiaegysége). Ezek szerint a szentjánosbogár a lehető legjobb hatásfokkal alakítja át a kémiai energiát fényenergiává. De az utóbbi években a vegyészek sem tétlenkedtek. Hatévi kutatómunka után az amerikai Du Pont vegyipari cég szakemberei 1968-ban PR–155



Villanykörte módjára világít a lombik, pedig nincsen benne izzószál. Csupán luciferint és luciferázt öntöttek össze benne a vegyészek. A hideg fény előállításának ezt a módszerét a természettől tanulták

jelzéssel olyan vegyületet állítottak elő, amely oxigén hatására szintén hideg fényt bocsát ki. Ha ezzel a folyadékkal szöveteket itatnak át, a légszigetelt csomagjukból kivett szalagok két-három órán át világítanak. Fényáramerősségük nem is olyan kicsi: egyenként több mint négy gyertya fényével világítanak. Az új anyag nemcsak folyékony, hanem aeroszolos és tubusos alakban is forgalomba kerül, így bármilyen anyag világítóvá tehető vele. Ha például tintában oldják fel, sötétben lehet vele levelet írni. Az állatvilágban is voltaképpen üzeneteket közvetítenek a hideg fények, csak sokkal egyszerűbb „nyelven". E jelzések értelmének megfejtése már a kutatások új ágába vezet.

Táncoló felderítők

A gyakorlott elefántvadászok jól tudják, hogy ha a lomha hústorony vízszintesen vagy kissé ferdén felfelé tartja ormányát, ez nem jelent jót: az állat rettenetesen dühös, és bármelyik pillanatban támadhat. Ha viszont lelógatja ormányát, vagy kissé visszakunkorítva játszik vele, zavarban van vagy fél. Tinberg angol kutató saját megfigyelései alapján miniszótárat állított össze az elefántok jelbeszédéből, s ez is bizonyítja, hogy a látás is lehetőséget nyújt az állatok „beszédére". Persze csak szűk keretek között. Mozdulataikkal inkább magukról mondanak el valamit, rendszerint hangulataikat fejezik ki, mintsem a másik számára is használható értesülést adnának tovább. A mozdulatoknak elsősorban az udvarlásban van jelentőségük, a halak és a madarak valóságos ősi koreográfia alapján mozognak. De a legcsodálatosabb táncot a méhek lejtik. S nem is párkereséskor, hanem munka közben! Róluk derült ki először, hogy mozdulataik jelbeszéde felér egy apróhirdetéssel. K. Frisch német professzor immár három évtizede tanulmányozza a méhek táncbeszédét, s még egyre újabb részleteket fedez fel.

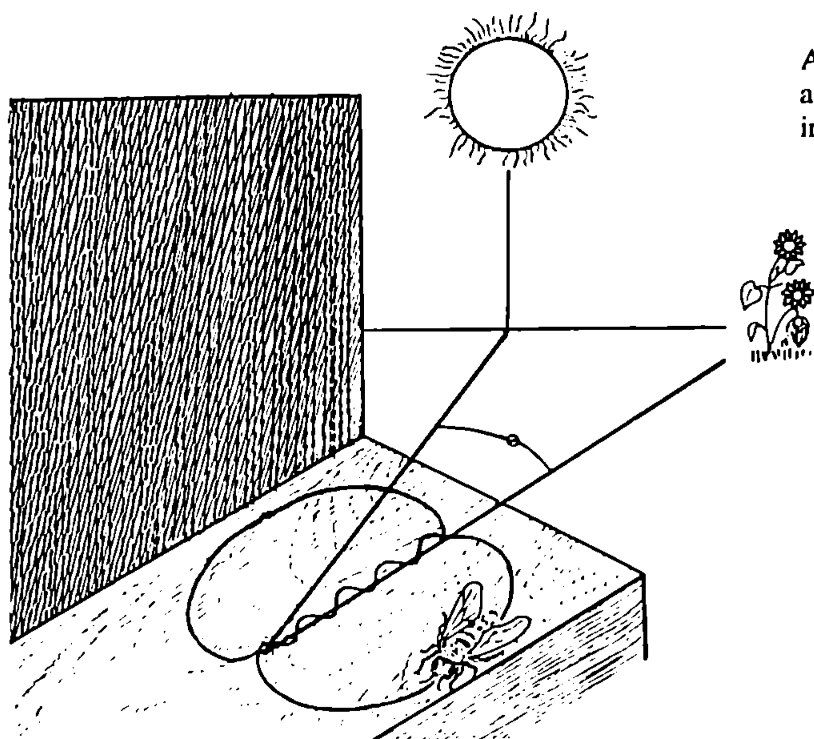
Ha a háziméhek kaptárától távol cukros vízzel telt csészét helyeznek el, ez néhány napig érintetlenül áll. Ám amikor valamelyik méh rátalál, és visszatér a kaptárba, hamarosan újabb felderítők jelennek meg, egy órán belül pedig már több száz méh nyüzsög szorgalmasan az édesség körül.

Ha három cukros csészét helyeznek el egyszerre, de az első felderítő csak a kaptárhoz legközelebbit veszi észre, a többi méh, amelyik később érkezik, szintén a legközelebbi csészéhez repül. Mindez azt bizonyítja, hogy a felderítő méh valamilyen módon hírt ad társainak az új táplálékforrásról. De hogyan közli ennek irányát és távolságát?

A kaptár előtti dobogón különös táncot jár. Potrohát csóválva 8-as alakú hurkokat rajzol olyan módon, hogy a nyolcas középső szakaszának iránya a lelőhely felé mutat. Az irányjelzésnek azonban van egy bonyolultabb változata is. Hűvös időben a felderítő a kaptár félhomályába húzódva, a függőleges falon járja el ugyanezt a táncot. Ilyenkor táncnyolcasának középső hullámos szakasza akkora szöggel tér el a függőlegestől, mint amekkora szöget a nektár és a Nap iránya zár be egymással vízszintesen a kaptárból nézve. Ha például a Nap sugaraitól balra 60 fokos szögben van a viráglelőhely, a függőlegestől is 60 fokos szögben tér el balra a nyolcas csóvatánc középső szakasza.

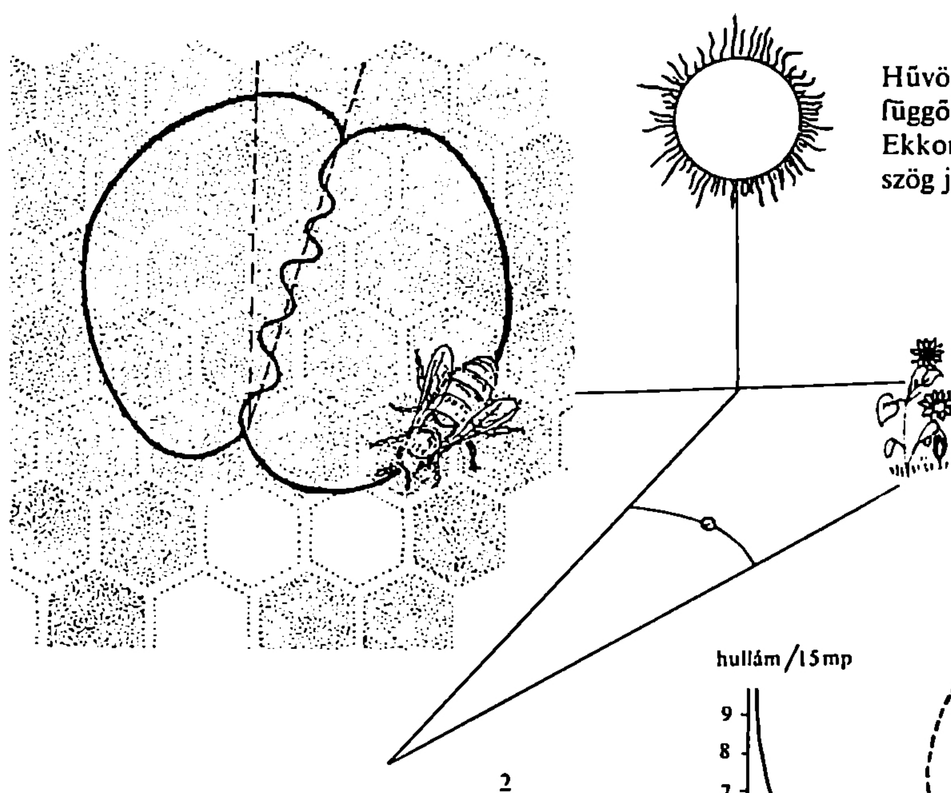
A táncrepülésről készített filmfelvételek elemzése derített fényt erre a különös hírközlési módszerre. Sőt később Frisch professzor és munkatársai még a méheket is becsapták egy parányi méh-utánzatú szerkezettel. Csóvatánccal mozgatták a kaptárban, és a méhek megértették az üzenetet. Pontosan azt az irányt választották startoláskor a kaptár előtti dobogón, amelyikről a gép-méh „beszélt" nekik.

De nemcsak a lelőhely irányát, hanem a távolságát is jelzi a csóvatánc. Minél közelebb van a nyíló rét a kaptárhoz, annál gyorsabban mozgatja potrohát a a felderítő. Teste hullámokat rajzol a nyolcas középső szakaszán, s ezek szaporasága jelzi a távolságot. Frisch professzor mérései szerint, ha a háziméh 15 másodperc alatt 9,5 hullámot ír le potrohával, ez a többiek számára azt jelenti, hogy a nektárforrás 100 méter távolságban van. Ha csak 4,8-szer csóválja potrohát a nyolcas középső részén, ez 1 kilométert jelent, 11 kilométer távolságot pedig



A kaptár előtt a bejáratnál táncoló méh a középső hullámsorozattal a nektárlelőhely irányába mutat (1)

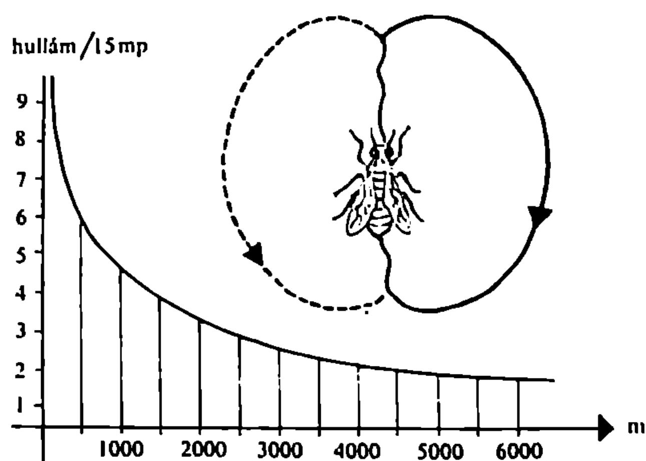
1



Hűvös időben a felderítő a kaptárban függőlegesen járja el táncát a lépen. Ekkor a függőleges egyenessel lezárt szög jelzi a táplálék irányát (2)

2

A csóvatánc során potrohát lengetve hullámokat ír le a kettős hurok közepén a felderítő méh. Minél gyorsabban rezeg a potroha, annál közelebb van a viráglelőhely. A hullámok száma (15 másodperc alatt) a várható út hosszát jelzi a többieknek



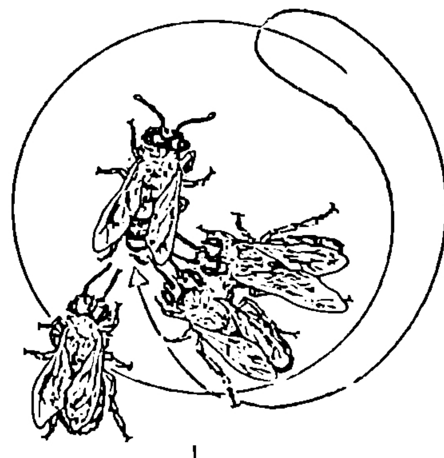
mindössze 1,4 hullámhosszúsággal jelez negyedperc alatt.

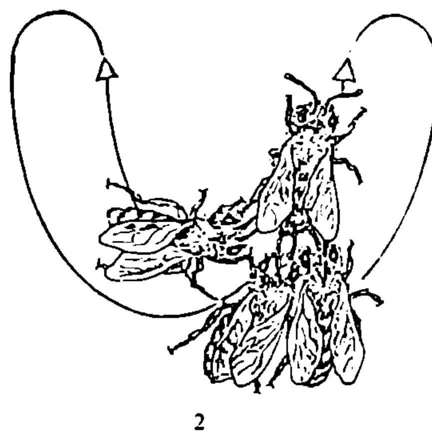
Amikor Salzburg közelében egy hegygerinchez közel végezték a kísérleteket, és a nektárt tartalmazó csészét a hegy túlsó oldalán helyezték el, még furcsább dolgot vettek észre. Az első felderítő visszatért a kaptárba, és csóvatáncával, a biológusok legnagyobb meglepetésére, a hegyen át mutatta az irányt, mintha valamilyen láthatatlan térképet szemlélne. De még megdöbbentőbb volt, hogy nem azt a távolságot jelezte, amelyet a hegygerinc megkerülésével tett meg, hanem légvonalban adta meg a távolságot. A felderítő „jelentése" után a méhek azonnal kirepültek. Vízszintesen szállva szépen megkerülték a hegyet, és habozás nélkül rátaláltak a nektáros csészére. A tájékoztatás annyira pontosnak bizonyult, hogy a méhek mindössze 2,5 fokot hibáztak, amikor a nektárforrás felé repültek.

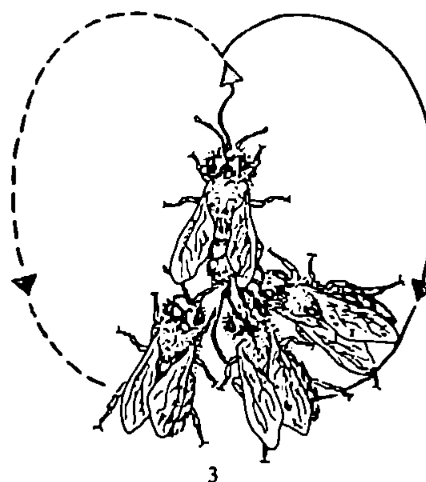
A kísérletsorozat folyamán különböző helyekre rakták a csalogató csészét, amikor egy alkalommal újabb meglepetés következett. A felderítő adatai alapján a méhek ismét felkerekedtek, de most felfelé szállva kerülték meg a hegygerincet. A későbbi mérések során kiderült, hogy néhány méterrel hosszabb utat kellett volna megtenniük, ha vízszintesen kerülik meg a hegy lábát, ezért a függőleges utat választották. Hogyan számították ki a méhek ezt a minimális különbséget? Még ma is rejtély.

A méhek nemcsak a csóvatáncot ismerik. Ha a nektárforrás nagyon közel van a kaptárhoz, csak sima körtáncot járnak, gyakran változtatva a körüljárás irányát. Ha viszont a nektár 10–100 méter távolságban van, C alakú sarlótáncot lejtenek, amely átmenet a körtánc és a nyolcas alakú csóvatánc között.

Kezdetben csak fekete ausztriai házieméhekkel kísérletezett Frisch profesz-



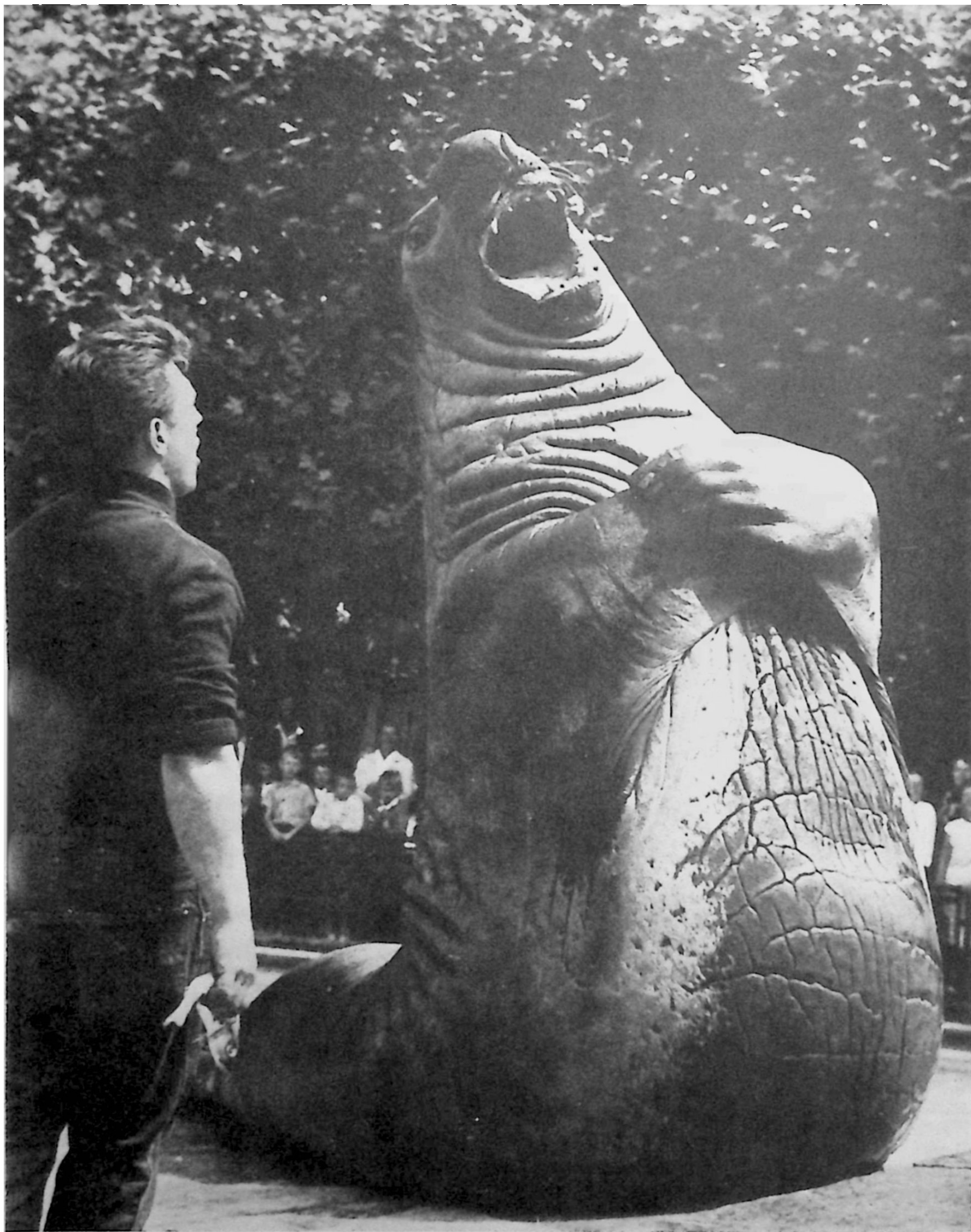




Ha a nektárforrás közel van a kaptárhoz, egyszerű körtánccal ad hírt a felderítő, váltogatva a kör irányát. Ilyenkor a virágpor illata alapján találnak oda könnyen a többiek (1). A sarlótánc azt jelzi, hogy a nektár 100 méter távolságon belül van (2). Ha még messzebb kell repülni, a csóvatánc ad felvilágosítást a nektár irányáról és távolságáról (3). Közben a többiek utánozzák a hírhozó méh mozgását, és megízlelik a rátapadt virágport

szor. Ezek a méhek a körtáncból rögtön csóvatáncba váltanak át, ha a táplálékforrás 86 méternél távolabb van a kaptártól. Más méhek későbbi vizsgálata során azonban már mind a három táncalakzatra fény derült, s az is bizonyossá vált, hogy a méheknek nincsen közös „világnyelvük", hanem tájanként más-más dialektusban beszélnek. Az európai háziméhek olasz fajtájának tagjai például 9 méterig tekintik közelinek a lelőhelyet, amikor még körtáncot járnak. Ennél nagyobb távolságokat 36 méterig sarlótánccal közölnek, s ha a táplálékforrás még messzebb van, akkor térnek át a csóvatáncra. Az indiai háziméhek számára, úgy látszik, életbevágóbb a távolság pontos ismerete, vagy a közelben sem tudnak tájékozódni a virágpor és a nektár illata alapján, mert már 3 méternél nagyobb távolságot is csóvatánccal jeleznek, a délkelet-ázsiai óriás háziméhek pedig 4,5 métertől veszik elő pontos hullám-mértékrendszerüket.

A törpe háziméhek, amelyek olyan aprók, hogy egy szárnyas hangyával is összetéveszthetők, a hírközlés kezdetlegesebb változatát használják. Csak vízszintes felületen képesek a táncbeszédre. Ha minden vízszintes síkot eltávolítanak a kaptár közeléből, képtelenek egymással közölni a megtalált nektárforrás helyét. Ők még nem ismerik a függőleges tánc matematikáját. Még néhány millió év, és talán ők is rájönnek a bonyolultabb módszerre, ha a létfenntartásért folyó harc rákényszeríti őket.



Teljes áhítattal „énekel" a stuttgarti állatkert elefántfókája. Az állatok olyan hangokat bocsátanak ki, amelyekre saját fülük is érzékeny. Valószínűleg a hangkeltő és a hangérzékelő szervek egymással párhuzamosan alakultak ki a fajok törzsfejlődése folyamán

DALLAMOK A FÖLD KÖRÜL

Felső-Kongó falvaiban még napjainkban is gyakran feldübörögnek a dobok, akár egy évszázaddal ezelőtt, azon a napon, amikor az eltűnt Afrika-kutató, Livingstone keresésére indult H. M. Stanley. Ő jegyezte fel naplójában, hogy a Kongó folyó mentén dobok hangja kísérte útját. A szomszédos törzsek dobnyelven adták hírül egymásnak, hol tartózkodik éppen, és mikor indul tovább. A dobtávíró ma már ritkábban szólal meg, de a bennszülöttek éppúgy ismerik szókincsét, mint élő nyelvüket.

Az állatvilágban szintén fontos hírközlések forrása a hang. Egy-egy holló vészkiáltására az egész csapat rémülten emelkedik a levegőbe, a nőstény krokodil pedig még a csapdából is kiszabadítja kicsinyét, ha meghallja segélykérő hangjeleit. De az állatok nemcsak hírközlésre használják hangjukat, hanem némely esetben tájékozódásra is, amikor többi érzékszervük már csődöt mond. Érzékeny „mikrofonjaik" is sokoldalúak: egyrészt a saját fajukhoz tartozó társak jelzéseit fogják fel, másrészt a környezetben végbemenő láthatatlan eseményekről szereznek hírt. A madarak és az emlősállatok füle az egyetlen olyan érzékszerv, amely még éjszaka is „riadókészültségre" van kapcsolva. Ha különös zaj üti meg az alvó macska fülét, azonnal abba az irányba fordítja fülkagylóját.

Az állatok többsége a fény segítségével szerzi információinak 99 százalékát, de gyakran a hangok is jó szolgálatot tesznek. A fény a legkisebb akadályon megtorpan, a hang viszont könnyedén megkerüli a köveket, növényeket, ezért néha messzebbre jut, mint a fény. A hang voltaképpen az anyag apró részeinek hullámzó, ritmikus mozgása, így terjedési sebessége attól függ, milyen közegben halad. Vízben csaknem ötször gyorsabban teszi meg az utat, mint levegőben, így a vizek lakói gyorsabban kaphatnak híreket, bár bizonyos szempontból nehezebben is. A talaj szintén jól vezeti a rezgéseket, nem véletlen, hogy az indiánok a földre tapasztották fülüket, amikor üldözőik lovainak dobogását figyelték.

A törzsfejlődés folyamán egyre finomodtak és tökéletesedtek a különféle „hallókészülékek", mind árnyaltabb különbségeket szűrve ki a hangjelekből. A legprimitívebb állatok még azzal sem dicsekedhetnek, hogy hangokat hallanak, csupán a rezgéseket fogják fel. Igaz, ezekre viszont olyan érzékenyek, hogy ha valaki megkopogtatja például a csőlakó gyűrűsférgek üvegtartályát, az állatok azonnal visszahúzódnak külön bejáratú „Diogenész-hordóikba".

Számunkra csak az a rezgés számít hangnak, amit meghallunk. Húszéves korig általában 16-tól 20 000 Hz rezgésig terjed a hallási tartomány (1 Hz = 1 Hertz, vagyis másodpercenként egy rezgés). Idősebb korban csökken az érzékenység a magas hangok iránt, ezért az sem téves adat, ha ezt az öregkori értéket tekintik az emberi fül hallástartományának 16-tól 16 000 Hz rezgésszámig.

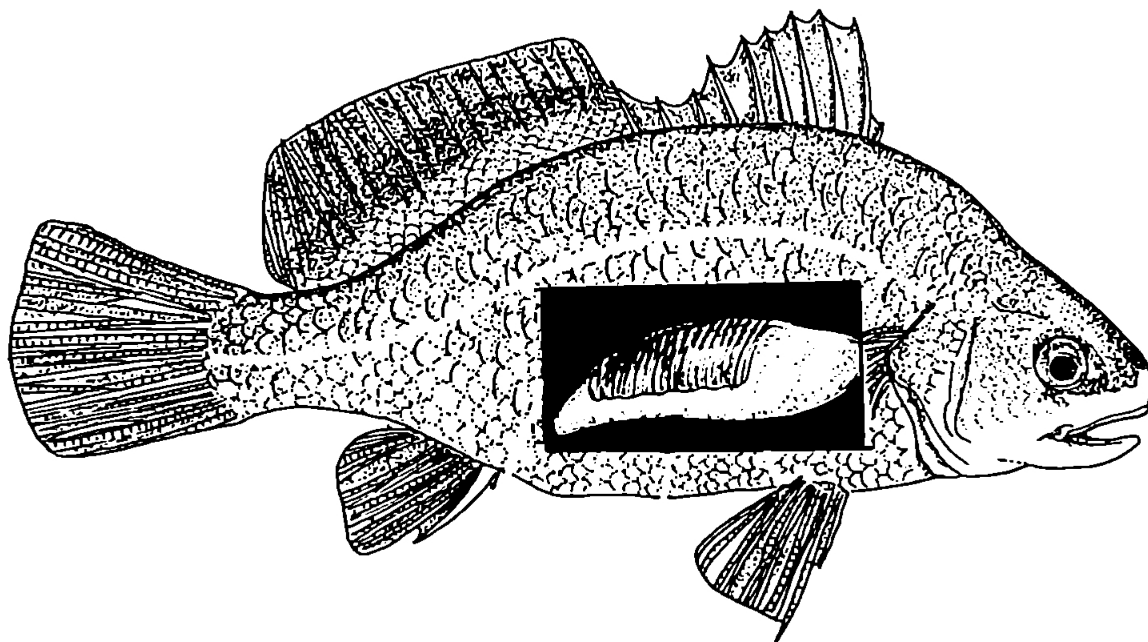
A valóságban persze olyan hangok is

előfordulnak, amelyek rezgésszáma kisebb 16 Hz-nél, és nagyobb 20 000 Hz-nél. A fizikusok az alsó határ alatt levő hangokat infrahangoknak, a tartomány felső határán túl terjedőket pedig ultrahangoknak nevezik. De az állatvilág a soron következő találmányaival ebbe a végtelenbe vesző hangtartományba is bejutott!

Úszó reszelők és dobok

1942 tavaszán az amerikai Chesapeake-öböl bejáratánál víz alatti mikrofonokat szereltek fel a műszaki alakulatok az ellenséges tengeralattjárók felderítésére. A „hidrofonok" főként a vízben terjedő hangokra érzékenyek, így a tengeralattjárók Diesel-motorjait is könnyen leleplezik, amelyek erős zajt keltenek, jóllehet a felszínen semmit sem hallani ebből. A parti őrszolgálat emberei ettől kezdve feszülten figyelték az öböl minden kis neszét. Semmi jel. Egy napon azonban különös hangok szűrődtek fel a vízből. Azonnal teljes riadókészültség! Éberen várták a felbukkanó tengeralattjárókat, de a titokzatos hangok éjfélkor elhallgattak. Mi történhetett az öböl mélyén? Búvárok ereszkedtek a vízbe, és óvatosan megkezdték a kutatást, de semmit sem találtak. Másnap viszont újból felhangzott a különös zaj. Még lázasabb nyomozás, semmi eredmény! Végül a biológusok oldották meg a rejtélyt: az öbölben van a dobos halak ívóhelye, ide vonulnak ívni minden évben. Csaknem 300 millióan gyűltek össze, és rezgő úszóhólyagjukkal keltették a gyanús hangokat. Ekkor derült ki először, hogy mégsem csendes a csend világa.

A második világháború víz alatti akusztikus aknái, amelyek a felettük elhaladó vízi jármű motorhangjának érzékelésére robbantak, ugyanígy hívták fel a figyelmet a halak hangjaira. Néha minden különösebb ok nélkül, maguktól felrobbantak. Csak később derült ki, hogy a halak különféle hangjai tévesztették



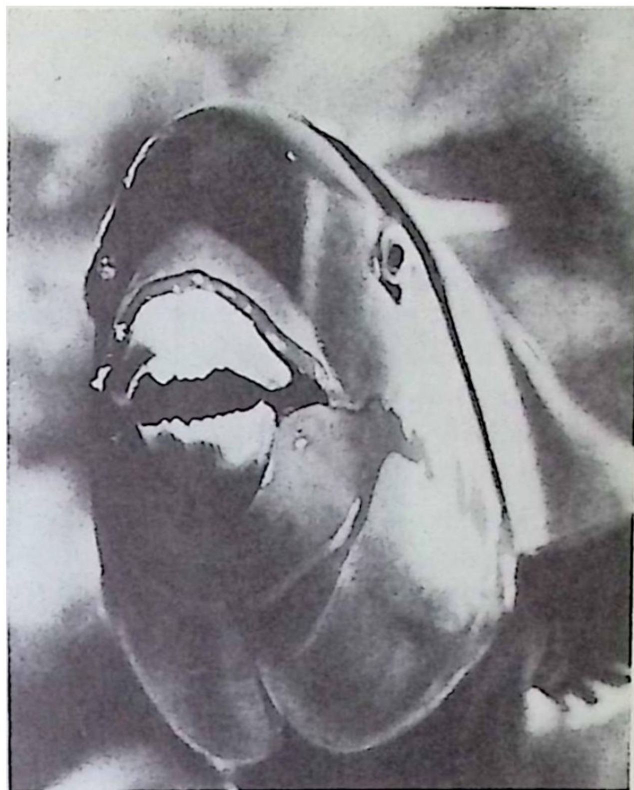
Az édesvízi dobos hal másodpercenként kétszer húzza össze úszóhólyagját. Így olyan hangok szállnak szét a vízben, mintha valaki türelmetlenül kopogtatna. Az úszóhólyagra tapadó izmok megfelelő villamos idegi parancsra kezdenek rezegni

meg a pusztító szerkezeteket. Azóta már számtalan magnetofontekercs és kísérlet bizonyítja, hogy a vizek lakói valóban nem némák.

Igaz, a halaknak nincsenek hangszálaik, de ez nem zavarja őket abban, hogy különféle rezgésszámú hangokat keltsenek. Azt is mondhatnánk, „síppal-dobbal" zenélnek. Az ördöghal például izmainak segítségével rezgeti meg úszóhólyagjának hártyás oldalát, a gáztöltet molekulái vibrálni kezdenek, és a hal úgy búg, mint egy közlekedő hajó ködkürtje. Ha tengervízzel töltött edénybe helyezik kioperált úszóhólyagját, majd villamos áramot kapcsolnak rá, ugyanez a jelenség tapasztalható. Az izmok ritmikusan összehúzódnak, és ugyanolyan hangot keltenek, mint a hal a vízben.

Ha valaki másodpercenként kétszázszor tudna pergetni egy dobverőt, a tengeri „vörösbegy" hangját utánozhatná. Ez a hal persze dobverő helyett úszóhólyagjának vékony válaszfalát használja, amelyen parányi lyuk van. Hólyagizmainak mozgatásával ezen áramoltatja át a levegőt oda-vissza másodpercenként 200-szor. A hártya rezegni kezd, az úszóhólyag pedig felerősíti a hangot. Az európai íjhalnak sincs szüksége külön dobverőre. Úszóhólyagjának egyik „ablaka" éppen melluszonya alatt helyezkedik el, így ahányszor rácsap, annyi tompa dobbanás száll szét a vízben. Az árnyékhalak viszont „húros hangszert" használnak: koponyájuk és gerincük között feszülő izomszálaikat rezegtetik.

A vízi világ lakóinak másik csoportja csikorgó hangokat hallat. A tüskéshalak rendszerint párhuzamos garatfogazatukat dörzsölik össze, mintha egy kifeszített villámzár két fogsora csúszkálna egymáson. Az úszóhólyag közvetítésével a vízben már olyan zaj hallatszik, mintha valaki hajóroncsot reszelne. A papagáj-



Amikor az a szólás-mondás keletkezett, hogy „néma, mint a hal", az emberek még valóban azt hitték, hogy a víz alatt van a csend világa. A hidrofonos vizsgálatok kiderítették, hogy a halak is „hangoskodnak". A papagájhal például csikorgó-recsegő hangrezgéseket kelt egymáshoz dörzsölt foglebenyeivel

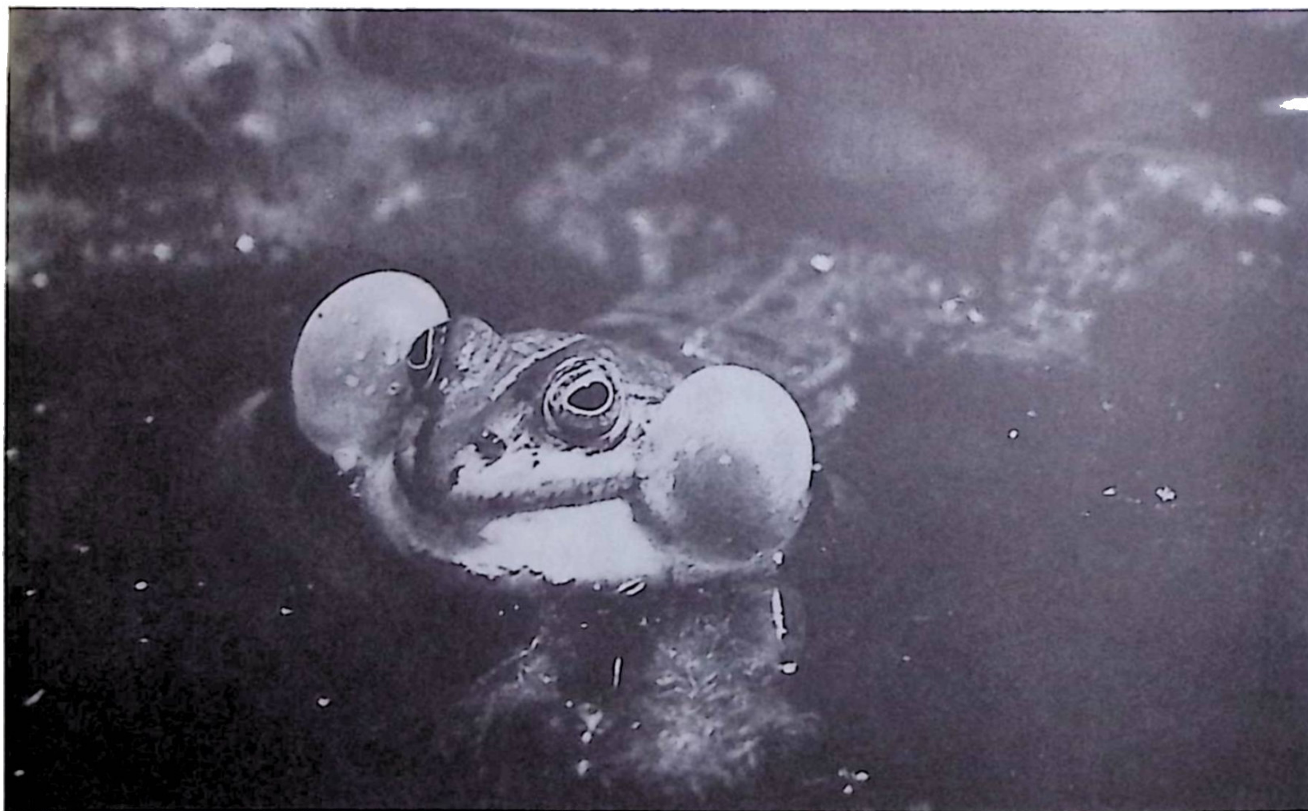
hal recsegő-ropogó hangjait az összedörzsölt foglebenyek keltik, az íjhal pedig éles metszőfogainak csikorgatásával ad hangokat.

A tengerben sokféle mozgás is zajjal jár. Az Alfeus-rákok egyik faja például az ellenséggel találkozva olyan dübörgést rendez, mint egy víz alatti kazánkovács. A kisebb kagylók egy ajtó csapódásának zajával is megelégszenek, a kétméteres átmérőt is elérő „gyilkos" kagylók viszont olyan erővel zárják össze héjukat, mintha ágyút sütöttek volna el. A berlini Humboldt Egyetem állathangtárában még egy hím rozmár különös hangja is megtalálható, amely leginkább a színházi előadás kezdő gongütésére em-

lékeztet. De a legfurcsább zajra csak néhány éve figyeltek fel a kutatók. A tenger óriásai, a kékbálnák időnként 20/mp-es rezgésszámú, tompa dübörgést hallatnak. Honnan jön ez a hang? Egy amerikai biológus lelt rá a titok nyitjára: a bálna szívdobbanásai hallatszanak. A vízi emlős öt mázsa súlyú szíve csaknem nyolc tonna vért keringtet végig a hatalmas testen, így tízlóerős motor teljesítményével dolgozik. A „motor" dübörgése mindig akkor hallható, mikor a táplálkozó bálna kitátja száját, hogy beszűrje 2000 literes gyomrába a lebegő parányi élő szervezetek tömegét, a planktont.

A vizek világában a zenélő reszelő mesterei a mély hangokat kedvelik, bár ezek inkább zajok, semmint dallamok. Általában 100 és 8000 Hz közötti hangokat keltenek fogcsikorgatással, a mell-uszonyok dörzsölésével. Azok a halak, amelyek úszóhólyagjukat használják a hangok felerősítésére, 1000 és 8000 Hz közötti hangtartományban morognak, krágoknak, kattognak és kopognak. Az úszóhólyag közvetlen rezegtetése még mélyebb hangokat ad. A vörös tüskéshal például egy-egy „kiáltáskor" 0,05 mp alatt ötször feszíti meg és ernyeszti el úszóhólyagját, így körülbelül 100 Hz-es rezgésszámú hangot kelt. A tüskésharcsák egyik faja gyorsabban rezegteti úszóhólyagját: 150 Hz-es, sajátságos „morgást" hallat, amely akár 12 mp-ig is eltarthat. A tőkehalak viszont a vízi világ basszus énekesei: úszóhólyagjuk másodpercenként 40–50-szer vibrál.

Az ördöghal meglepő hangerejével válik ki a tenger zajos kórusából. Búgó ködkürtre emlékeztető hangja a vízben



A kétéltűek hangja elsősorban a párkeresésben nyújt segítséget. Még a rokon fajok is különböző rezgésszámú szaggatott kiáltásokkal hívják fel magukra a figyelmet. Ennek az úszó békának kétoldalt dudorodik jellegzetes hanghólyagja, amely ritmikus rezgéssel erősíti fel a torkából előtörő hangokat

még 5 méter távolságról is olyan hangerővel hallatszik, mint egy beindított repülőgépcsavar. Hangmagassága általában 75–300 Hz között mozog, bizonyos hívójelei 4800 Hz-et is elérhetnek. De a Bahama-szigeteken még a bennszülöttek is megborzonganak, amikor 6000 Hz-es rezgésszámú hangja félelmetes sikolyként siklik végig a vízen.

Kétszázmillió évvel ezelőtt valószínűleg a békák verték fel először a szárazföld csendjét. Pedig nincs valami szép hangjuk! De már hangszalagokon zeng fel minden tavasszal a békaszerenád. A tüdőből előtörő levegő ritmikus mozgását a hanghólyag erősíti fel. Ez a garat nyálkahártyájának kitüremlett része, amely jól látható, amikor a béka „felfújja" magát. Megfigyelhető, hogy a hím békák rendszerint nem egymagukban „énekelnek", hanem énekes triót alkotnak. Felváltva szólalnak meg, így a hangoktól elbűvölt nőstény egyszerre három gavallér közül választhatja ki a legügyesebb énekest.

A levegőben szálló „békaszerenád" rezgésszáma meglehetősen szűk határok között váltakozik. A varangyfélék általában 2510–2700 vagy 2000–2300 Hz-es hangon kuruttyolnak. Az ásóbéka viszont olyan kiáltásokat hallat, mintha pingponglabda pattogna az asztalon. Noha ebben a hangban az 1500 Hz-es rezgés hallatszik a legerősebben, ami még a szoprán énekesnő hangjánál is magasabb, a brekegés mégis zeneietlen, mert az összes többi magasabb frekvencia is megtalálható benne 7000 Hz-ig. Még a némának hitt szalamandrák is képesek időnként ugatásszerű hangot adni. A kaliforniai szalamandra 0,3 mp-ig tartó, kb. 3100 Hz-es kiáltásokkal igyekszik megfélemlíteni közeledő ellenségét. Hogy milyen sikerrel, ezt még nem vizsgálták alaposabban a kutatók.

Mit hall a hal?

Nincs olyan biológus, akinek ne lenne kedvenc állata. Konrad Lorenz német professzor libákkal kötött barátságot, Karl von Frisch, a méhek táncának felfedezője pedig egy törpeharcsát szelídített meg. Ha a tópartra ment sétálni, a hal már egyetlen füttyszóra megjelent, akár a hűséges kutya. Kell-e ennél több bizonyíték a halak hallására?

Bizony kell, mert a halak anatómiai felépítése nem sokat árul el abból, hogy a vízben miképpen fogják fel a nyomáshullámok és a rezgések alakjában terjedő hangokat. Belsőfülük ugyanis nem olyan fejlett, mint az emlősállatoké. Az ismert csigajárat, amelyben a tengervíz emlékét őrző különleges folyadék parányi érzőidegsejtek segítségével alakítja át a hangrezgéseket villamos jelekké, a halakban mindössze egy megnyúlt zsákocska. Benne apró kő (az otolit) foglal helyet. Ha a kövecske rezegni kezd, ingerli a zsák oldalát borító érzősejteket, így a hal tudomást szerezhet a rezgésekről.

De hogyan jutnak el a hangok a hal belsőfüléig? Minthogy a hal teste a vízben terjedő rezgések szempontjából csaknem teljesen „átlátszó", a kutatók azt gondolták a múlt században, hogy semmit sem hall. Nyilván átsuhannak testén a rezgések anélkül, hogy valamit is fel tudna belőlük venni. Fizikai szempontból a hangok feltartóztatásához olyan anyagra van szükség, amelynek sűrűsége és hangtani tulajdonságai erősen eltérnek a környező közegétől. A vízben például a légbuborékok ilyen kitűnő hangvisszaverő tükrök és rezgéserősítők.

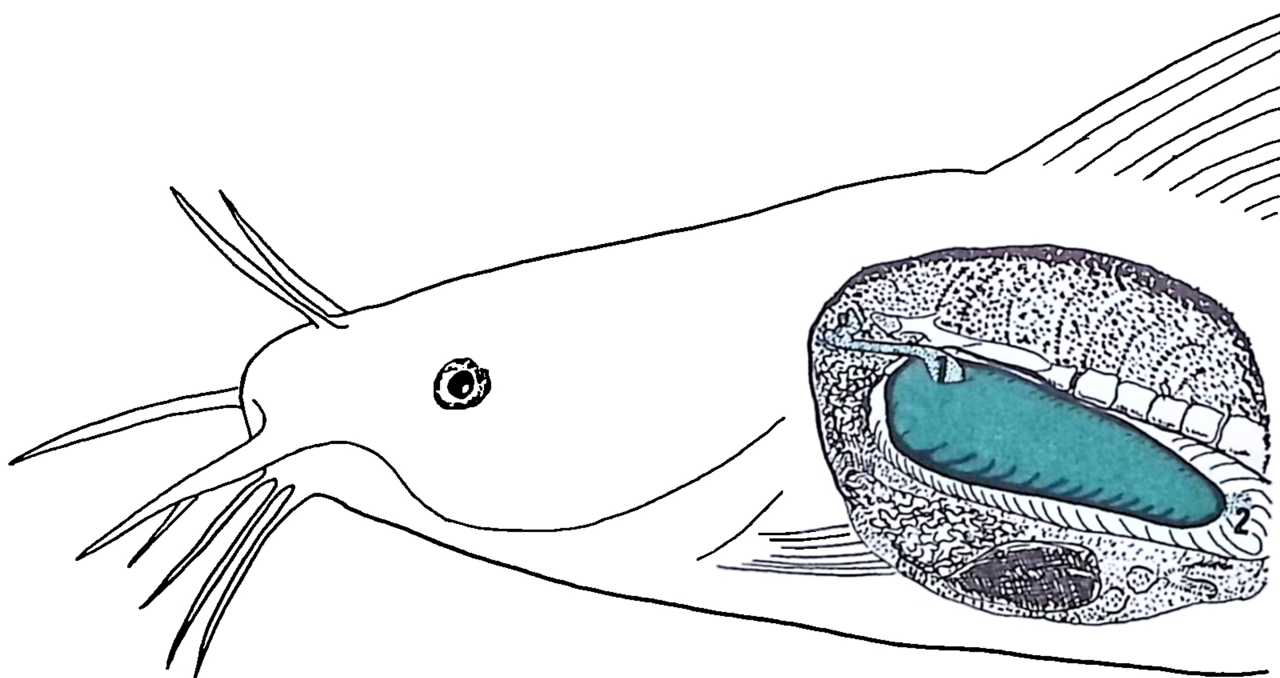
A figyelem tehát a halak úszóhólyagjára terelődött, amely gázzal töltve kiválóan alkalmas arra, hogy felfogja a vízben terjedő rezgéseket. E. H. Weber német kutató, szinte korát megelőzve, ana-

tómiai vizsgálataiból már 1820-ban arra a következtetésre jutott, hogy valószínűleg a halak úszóhólyagja fogja fel a hangenergiát, és rezgésekké alakítva továbbítja a belsőfülhöz. Azokat a csontocskákat, amelyek az úszóhólyagot a belsőfüllel összekötik, ma is Weber-féle szerkezetnek nevezik, s a legújabb kutatások bebizonyították, hogy valóban ezek juttatják el a hangrezgéseket a halak belsőfüléhez.

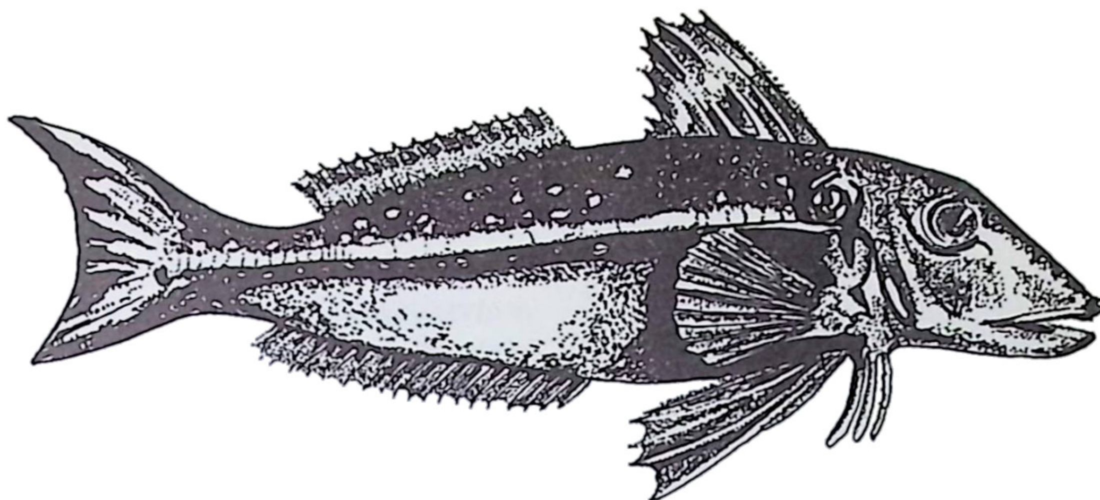
A halak hallási tartományának felmérése nem könnyű feladat, mivel igen nehéz olyan reflexeket kialakítani, amelyek egyértelműen jelzik, meghallott-e valamilyen hangot a hal vagy sem. Néhány éve az amerikai Brandeis Egyetemen dolgozták ki a legelfogadhatóbb módszert. A sivár akváriumban egyetlen hal úszkált békésen. Egyszer csak minden látható ok nélkül összerándult, és rémülten siklott az üvegmedence széléhez. Amikor egy idő után felbátorodva ismét kalandozásra indult, az akvárium közepe táján megint eszeveszett menekülésbe kezdett, mintha áramütés érte volna.

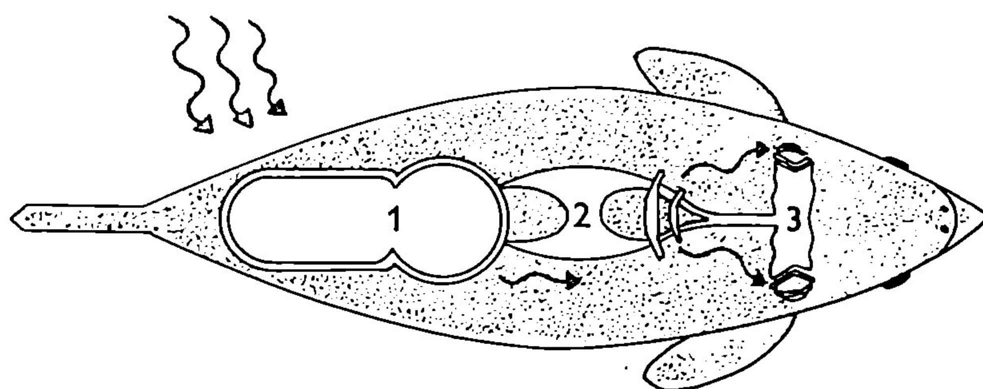
A hal valóban áramütést kapott. W. N. Tavolga amerikai kutató figyelmesen ült az akvárium előtt, és időnként megnyomott egy gombot. Ekkor kapcsolta be az áramot. Ez az akvárium nem a csend és nyugalom jelképeként került a laboratóriumba, hanem egy fontos kísérletsorozathoz tartozott. Közepén kavicszátonyt emeltek, amelyen már olyan sekély volt a víz, hogy a hal éppen csak át tudott úszni rajta. A medence vizébe két elektródot vezettek, a zátony alatt pedig olyan gömbhangszórót helyeztek el, amely légbuborékok alakjában sugározta szét a hangokat a vízben. A halnak meg kellett tanulnia, hogy bármilyen hangot hall a zátony fölött, azonnal ússzon át a másik oldalra, különben áramütést kap. Ezzel a módszerrel derítette fel Tavolga és kutatócsoportja a halak hallástartományait.

A kísérletekből kitűnt, hogy a tengeri halak felső hallási küszöbe 1500–2000 Hz körül van, másfél-két oktávval magasabban a zongora normál *a* hangjánál. A vizsgálatokat összegezve két csoportot



A vízi világ egyik „lehallgató" szakembere a törpeharcsa. Kamrákra osztott úszóhólyagjából (2) a hangrezgéseket a Weber-féle készülék (1) vezeti el, amely egy nagy és három kisebb csontocskából áll

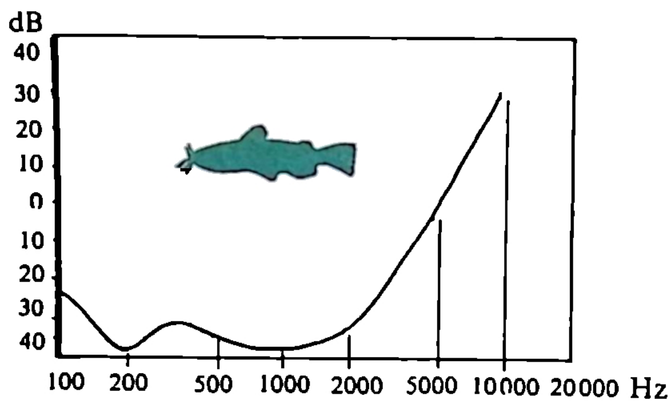


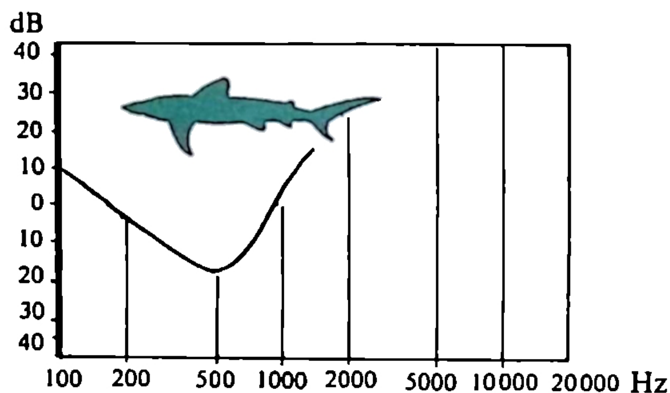


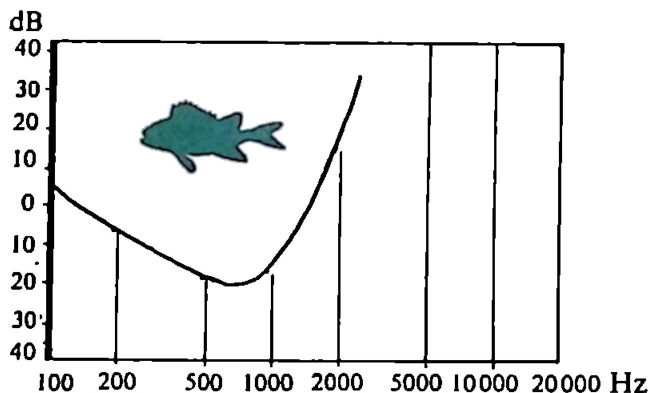
Hiába keressük a halak fülét, kívülről semmi sem látszik. Testükben rejtőzik az érzékeny mikrofon – az úszóhólyag (1). A morgóhal hangfelvevő szerkezetének vázlatán a hang további útja is nyomon követhető. Az úszóhólyag falának rezgéseit a Weber-féle csontocskák (2) közvetítik a belső fülhöz (3). Itt alakulnak át a hangok villamos jelekké

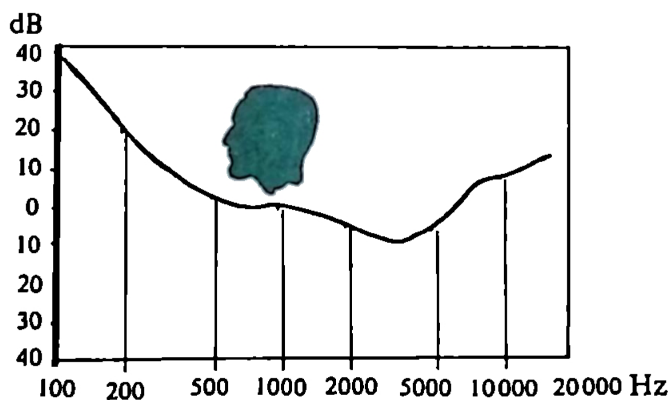
találtak a kutatók. A halak többsége nem hallja a 2000–2500 Hz-nél magasabb hangokat, tehát a zongora legmagasabb oktávján leütött hang teljesen hidegen hagyja őket. Második, kisebb csoportjukat a pontyalakúak alkotják. Az ide tartozó pontyok, fürge csellék és kárászok a víz alatti „lehallgatás" mestereinek tekinthetők: még 4000 Hz-es hangokat is érzékelnek. Sőt a törpeharcsák a zongora legmagasabb hangjánál csaknem egy oktávval szaporább rezgésekre is felfigyelnek 8000 Hz körül, V. R. Protaszov szovjet kutató pedig olyan egyedet is talált, amely 13 139 Hz-es hangot érzékelt. A jelenlegi kutatások szerint ez a halak hallási csúcsa a víz alatti világban.

A hallószervek érzékenységét azonban nemcsak az jellemzi, milyen rezgésszámú hangokat képesek felfogni. Ugyanilyen fontos a hang erőssége is. Az emberi fül például a 2734 Hz-es hangra a legérzékenyebb, ami a zongora legmagasabb *e* és *f* hangja közötti rezgésszámnak felel meg. Ehhez képest egy 1000 Hz-es hangnak már tízszer erősebben kell szólnia ahhoz, hogy az ember éppen meghallja. A halak érzékenysége a mélyebb hangok iránt nagyobb. A vizsgálatok szerint a tüskéshal a 800 Hz-es hangokat hallja meg a legtávolabbról a vízben, az emberevő cápa az 500 Hz-es hangokra a legérzékenyebb, a törpeharcsa pedig a 200 Hz-es gyenge hangrezgésekre figyel









fel először, amikor más frekvenciákat még nem fog fel, pontosabban: furcsa módon ugyanilyen érzékeny az 1000 Hz-es hangokra is, tehát kettős hallásküszöbe van.

A mélyebb hangok kétségtelenül hasznosabbak a halak tájékozódásában, mert a távolsággal arányosan e rezgések energiája kevésbé csökken, mint a magas hangoké. A vízben nagyjából ötször gyorsabban terjed a hang a levegőben mért sebességnél, de a „nehézkes" vízmolekulák megmozgatása több energiát emészt fel útközben. A magas hangoknak tehát nagyobb energiával kell útra kelniük, hogy ugyanakkora távolságra jussanak el, mint a mély hangok.

A fizikusok a különböző erősségű hangok összehasonlítására azt a küszöbértéket választották, amellyel még éppen meghalljuk az 1000 Hz-es hangot. Ezt a pontot elnevezték 0 decibelnek. Ha ennél tízszer erősebben szól a hang, erőssége 10 decibel (dB), ha százszor erősebb, akkor 20 dB, az ezerszer erősebb hang 30 dB és így tovább.

Mindez a levegő által közvetített hangokra érvényes. A levegőnél nyolcszázszor sűrűbb közeg, az összenyomhatatlan víz nagyobb ellenállást fejt ki a rezgésekkel szemben, több energiát nyel el. Ha az ember ugyanolyan erősségű hangot hall a vízben, mint a levegőben, akkor a hangforrás tulajdonképpen 36 dB hangerővel erősebben szól. A biológusok ezt az eltérést úgy vették figyelembe, hogy a mérési eredményekből levontak 36 dB-t, így már összehasonlíthatóvá vált a halak fülének érzékenysége az ember hallásával.

Néhány hal és az ember hallásának rezgéstartományai. Ugyanaz a hangforrás sokkal távolabbról hallható a vízben, mint a levegőben. A vízbe merülő ember hallásával csak a törpeharcsa veszi fel a versenyt.

Megállapították, hogy néhány faj (például a törpeharcsa) legalább olyan jól hall a vízben, mint az ember a levegőben. De ha az 1000 Hz körüli hangrezgéseket hasonlítjuk össze, kitűnik, hogy a törpeharcsához képest a tüskéshal már kissé „nagyothalló". Annyival nagyobb hangenergiának kell érnie a fülét, mintha egy csendes szobában valaki csak az óra ketyegésénél erősebb hangokat érzékelné. Az emberevő cápának még ennél is százszor nagyobb hangenergiára van szüksége, hogy felismerje az 1000 Hz-es hangot. Mintha a levegőben az emberi hallásküszöbhöz képest csak egy eltépett papír zajára figyelne fel.

A vízben terjedő hangoknak még egy furcsaságuk van. Alacsony rezgésszámokon és a hangforráshoz közel a hullámok energiája kétféleképpen érzékelhető: egyrészt nyomás, másrészt a víz részecskéinek elmozdulása (vibráció) alakjában. Melyiket érzékeli a kettő közül a hal? A kísérletek alapján a kutatóknak az a véleményük, hogy 800 Hz-nél magasabb hangokat csak a nyomásváltozások alapján érzékelnek a halak. Alacsonyabb hangok esetében és 6–9 méter távolságon belül még mindig ezek a nyomáshullámok a döntőek a hal számára, de valószínű, hogy ekkor már a vízrészecskék elmozdulását, ütemes rezgését is észreveszik.

Mindebből önként adódik a kérdés, hogy hol van a halak hallási tartományának alsó határa. Nehéz meghatározni. Ehhez előbb azt kell tisztázni, mit nevezhetünk még hangnak. Ha egy acélpenge másodpercenként hússzor vagy ennél kevesebbszer rezeg, ezt a hangot már nem halljuk. Ez az infrahangok tartománya. Lényegében ezek is hangnak tekinthetők, hiszen rezgésekből állnak, de azt is mondhatjuk, hogy másodpercenként húsznál kevesebb lökéshullám indul el a levegőben vagy a vízben. Ha egy hallószerv felfogja egy távoli hangforrás lökéshullámainak nyomását, akkor az infrahangokra is érzékeny.

Annyi bizonyos, hogy a legtöbb víziállat érzékeny az infrahangokra. Ilyen hangok keletkeznek a tengerben, ha valahol távoli vihar tombol, vagy földrengés, szökőár keletkezik. A medúzák már 10–15 órával a vihar kitörése előtt a tenger mélyére húzódnak, mert a kis frekvenciájú infrahangok figyelmeztetik őket a veszélyre. Ugyanígy a delfinek viselkedése is elárulja, ha vihar közeledik, és bizonyos halfajok a földrengéseket is „előre jelzik".

Minthogy a halak hallásában döntő jelentősége van az úszóhólyagnak, a Szovjet Tudományos Akadémia geofizikai intézetében a halbiológusok közreműködésével olyan érzékeny hidrofont szerkesztettek, amely az infrahangokat fogja fel, így jelzi a vihar közeledtét. Gázzal töltött ballont bocsátottak a víz mélyére, és ennek az „úszóhólyagnak" a rezgéseit erősítették fel villamos úton. A találmány valóban igazolta a biofizikusok elképzelését. Sokkal érzékenyebb az infrahangokra, mint a hagyományos hidrofonok és nyomásérzékelők.

A kétéltűek és a hüllők füle nem olyan fejlett, mint az emberé, ahol a középfülben három kis csontocska – a kalapács, az üllő és a kengyel – továbbítja a rezgéseket a belsőfül csigajáratához. Csak egyetlen csontocska húzódik a dobhártya fala és a belsőfül ovális ablaka között. Ez az egyszerű csont többé-kevésbé egyenes és rugalmas, így nagyjából ugyanúgy működik, mint az emberi fülben a három hallócsontocska. A gyenge rezgéseket felerősíti, de ha túl erős rezgések érik a fület, elhajlik, mint a gumibot. Tehát „leblokkolja" a hangokat, és nem továbbítja őket a belsőfülhöz. Bár a békák füle



Talán éppen egy távoli hangra figyel a foltos szalamandra. Az esetlen állat hallószerve eléggé kezdetleges. A zongora három legmélyebb oktávjára terjed mindössze hallási tartománya, de abból is csak minden ötödik zenei hangot ismer fel

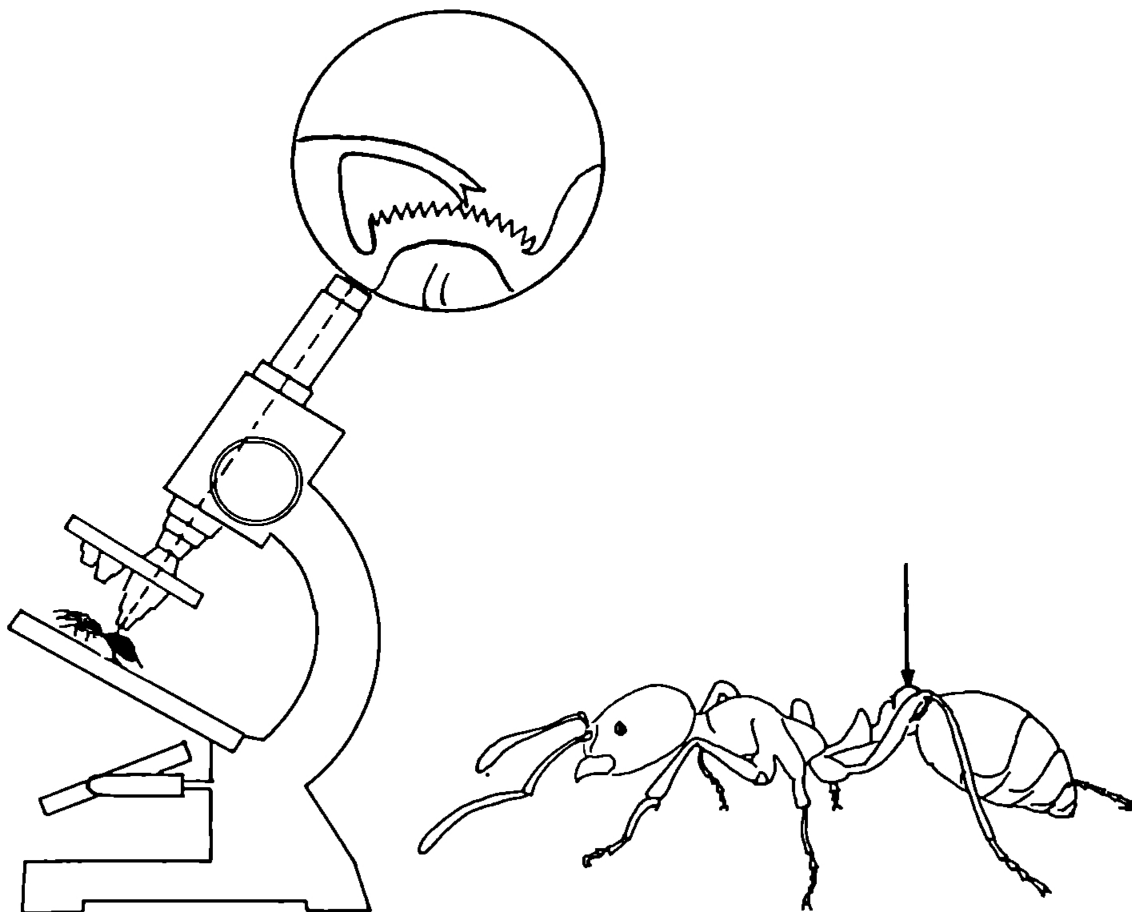
nem látható, dobhártyájuk általában néhány milliméteres mélyedésben foglal helyet a fej két oldalán. Hallásuk csaknem megközelíti az emberét. A századfordulón végzett mérések szerint általában 50-től 10 000 Hz-ig hallják meg a hangokat, de a legújabb vizsgálatok szerint 30-tól 15 000 Hz-ig terjed hallástartományuk. A hüllők világában a kutatók sokáig azt hitték, hogy a szalamandrák egyáltalán nem hallanak. A legújabb vizsgálatok kimutatták, hogy 244 Hz-ig fogják fel a hangokat. Ezeket is hézagosan, mert csak egy kvint hangnak megfelelő másfélszeres frekvencia különbséget érzékelnek, ha többféle rezgés érkezik egyszerre fülükbe. Számukra a hallás, úgy látszik, csak kiegészítője a többi érzékszervnek. A létért való küzdelemben nyilván nem volt szükségük arra, hogy túlzottan tökéletesítsék fülüket.

Hatlábú hegedűsök

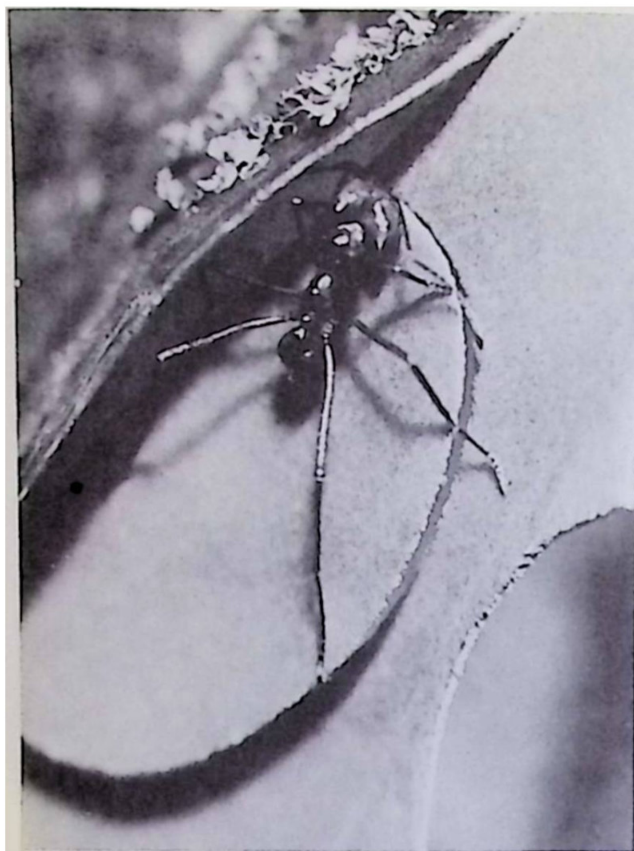
„Bahia vagy San Salvador. Brazília. Február 29. A nap pompásan telt el. A »pompás« szó különben gyenge egy természetbúvár érzelmeinek kifejezésére, aki először kóborol magányosan egy brazíliai erdőben... Az erdő árnyas részeiben a zaj és csend ellentmondó ke-

veréke uralkodik. A rovarok lármája olyan hangos, hogy egy több száz yardnyi távolságban horgonyzó hajóról is hallható..." Charles Darwin, a nagy természettudós 1832-ben jegyezte fel naplójába ezeket a sorokat, s a rovarok mit sem változtak azóta. Tarka sokaságuk nap mint nap bizonyítja, hogy hírközlő rendszerükben a hangok is helyet kaptak. Még a pöttömnyi hangyák is „hangoskodnak" néha. I. I. Marikovszkij szovjet kutató megfigyelése szerint például a fekete erdei fahangyák katonái, amelyek a boly bejáratát őrzik, ha idegen szagot sodor feléjük a szél, azonnal jelzik a veszélyt. Az éber katona a boly falához üti állkapcsát, s ez a rezgés a bentiek számára valószínűleg úgy hangzik, mintha vészcsengő szólalt volna meg. A kis koppanást még az ember is meghallhatja, ha néma csendben figyeli a boly életét. Ez azonban még csak olyan hangkeltés, mintha valaki egy üres hordó oldalát ütögetné.

A több mint négyezer hangyafaj fele – főként a trópusokon – olyan szerkezettel is rendelkezik, amelyről már száz évvel ezelőtt megállapították a biológusok, hogy hangképző szervnek kell lennie. A levélvágó hangyákról készült elektronmikroszkópos felvételeken világosan kivehető a különös pengetős hangszer: a csuklósan illeszkedő utolsó torszerelvényen parányi tüske látható, amely a potroh fölé nyúlik, a potroh peremén viszont apró árkok húzódnak. Amikor a hangya meghajlítja derekát, a vékony tű úgy karcolja végig a barázdákat, mint a lemez-

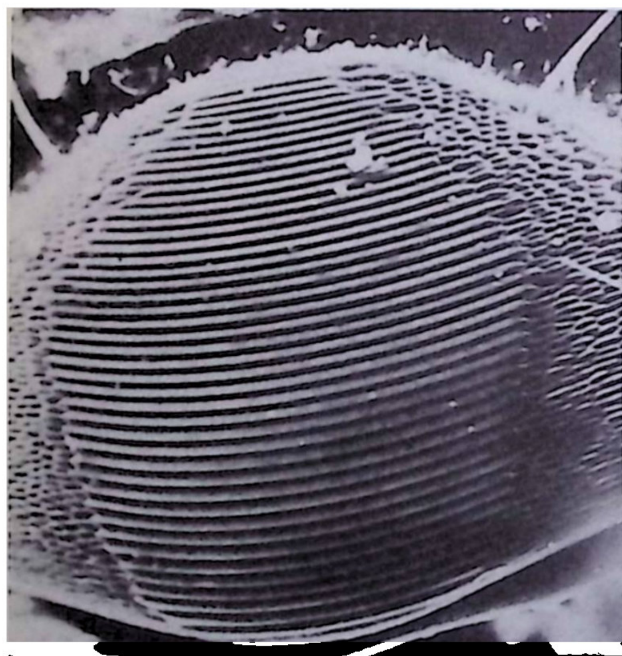


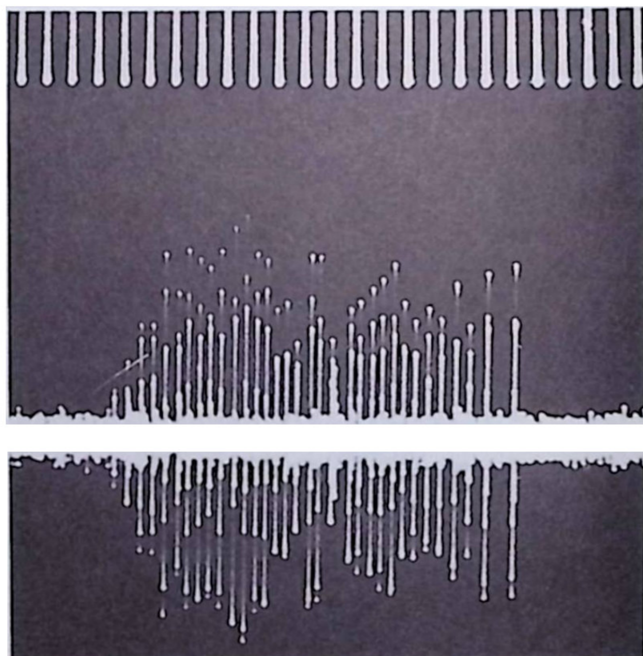
A levélvágó hangya hangképző szerve olyan parányi, hogy csak mikroszkóppal vehető szemügyre. A tor végéből kinyúló tű a potroh kitinbarázdáin perceg végig. A hangya olyan hangot ad, mintha valaki egy húszfilléres peremén húzná végig a körmét



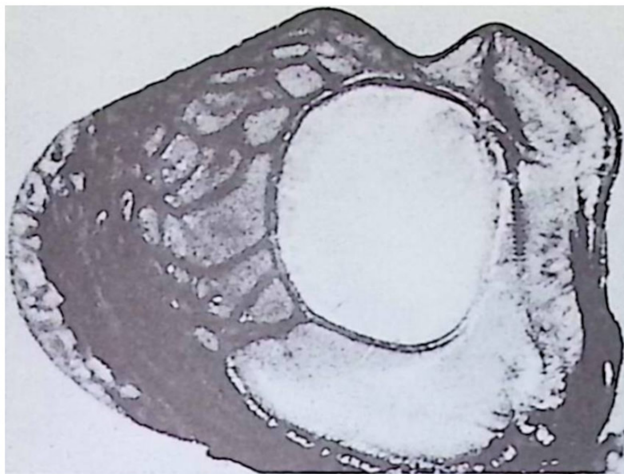
játszó tűje, ha véletlenül beljebb lökik a lemezen. Csakhogy ezek az árkok rendkívül kemény anyagból, kitinből vannak, így nem roncsolódnak el akkor sem, ha a hangya egész életén át percegteti rajtuk „hangszedő tűjét". A vibrálásból azután a test együttrezgése következtében keletkezik a hang.

Az egyenes szárnyú rovarok még tökéletesebb szerkezettel muzsikálnak. A szöcske kissé megemeli fedőszárnyait, és ollózva mozgatja őket, mintha valaki fordítva venné álla alá a hegedűt. Bal szárnyának alján van a ciripelő-ér, jobb szárnyának tetején viszont a vonó-ér. Ha két szárnyát egymáshoz dörzsöli, a vonó alulról csúszik végig a ciripelő-éren, és hangrezgések keletkeznek. A tücsökszerenád hasonló módon zendül fel. A jobb szárny alján található reszelő 20, egyes fajokon





Munkában a levélvágó hangya. A kivágott leváldarabkát becipeli a bolyba, és itt a többiekkel a begyűjtött növényrészeket péppé őrli. Ezen a táptalajon gombaspórákat tenyésztenek, mert a kifejlődő gombafonalak a kedvelt táplálékuk (fent). Ezek a hangyák a derekukon hordják parányi hangszerüket. Potrohuk első szelvényén húzódik az a barázdasor, amelyen a tor „pengető" tűje végigkattog (lent balra, 400-szoros nagyításban). Az elektronikus hangerősítővel felvett „szonogramon" egy kattanási sorozat képe látható (lent jobbra)



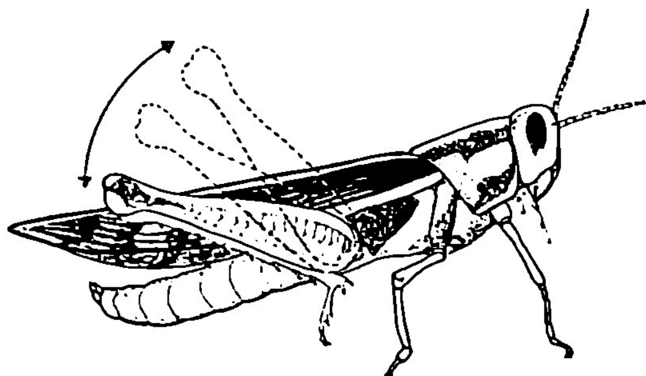
A lombszöcske jobb fedőszárnyán az ovális tükör a valóságban olyan hajszálvékony hártya, amely a ciripelés ütemében rezeg. Nagy felülete egyszerre sok levegőt hoz mozgásba, a szöcske erős hangja ennek a rezonáló hártyának köszönhető. A szárnyfedőn a „húr" és a „vonó" is megtalálható: a ciripelő-szegély baloldalt a szárny szélén, a ciripelő-ér a tükör mellett húzódik függőlegesen

150 fogból áll, a másik szárnyon pedig a sima ívecske húzódik. Amikor ciripelni kezd a tücsök, ferdén vagy csaknem függőlegesen felemeli szárnyait, és a bal szárny ívecskéje végigfut a jobb szárny reszelőjén. A vonó és a reszelő ívelt alakja mechanikai szempontból is érdekes. Az elforduló szárnyakon a „húr" és a „vonó" mindig derékszögben találkozik, ami a hártyás szárnyak rezegtetése szempontjából a legkisebb erőkifejtést igényli.

A sáskák mulatságos módon a lábukkal hegedülnek. Két hátsó lábuk combjának belső oldalán recés hangléc található, ezt dörzsölik a szárny valamelyik kidudorodó hosszanti eréhez. A hang lényegében ugyanúgy keletkezik, mint a valódi hegedűn. Ahogy a gyantázott vonó a rezgések ütemében tapad a húrhoz, és siklik le róla, ugyanúgy kezd rezegni a szárny is. Csakhogy a hegedűtest hangerősítő feladatát itt a nagy felületű szárnyak látják el. Minél kiterjedtebbek, annál nagyobb légtömeget rezegtetnek meg környezetükben. A zenélő sáska furcsa mutatványt végez: elülső négy lábával kapaszkodik, miközben egyszerre mozgatja mindkét összehajtott lábát. Nehéz lenne utánozni két hegedűn, két vonóval...

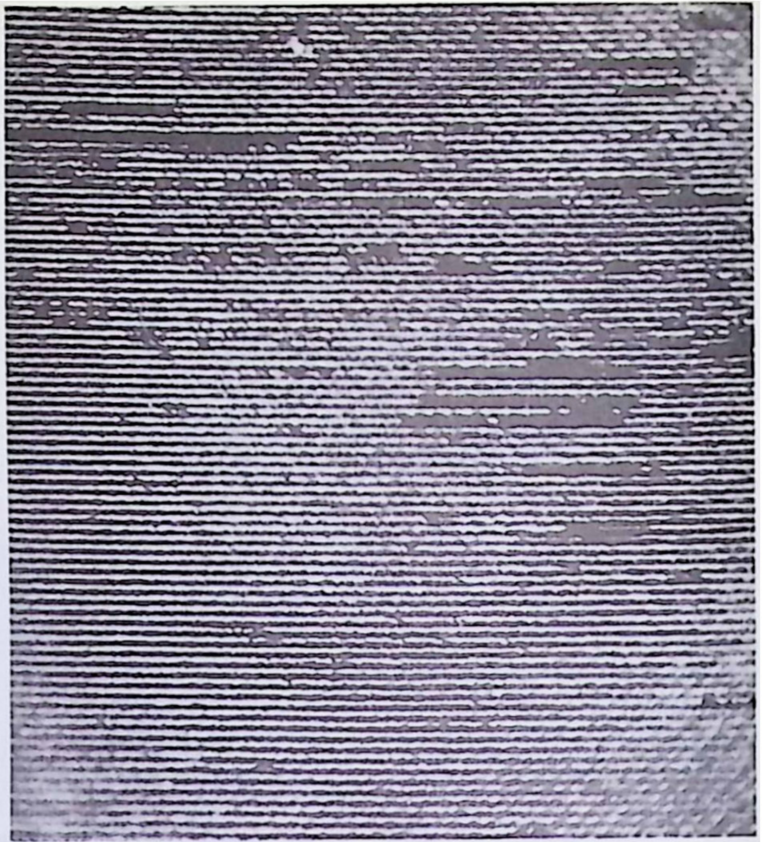
A cincérfélék viszont a hangyák hangszerét találták jobbnak, ezért hasonló szerkezettel keltik a rezgéseket. Nyikorgó hangjuk azonban messzebb hallatszik, mint a hangyáké. A rezgések az első és a második torszelvény között keletkeznek. Ha a cincér bólogatni kezd, recés gallérja végigsúrlódik a második torszelvény 1,5 mm széles sávján, amelyen parányi keresztirányú barázdák sorakoznak.

Bizonyára mindenki felfedezte már; hogy még egy konzervdoboz is „hangszerré" válhat: az oldalát nyomogatva, erős csattanások vagy puffanások csalhatók ki belőle. A kabócák fejlődése során ez a hangképző szerkezet alakult ki. Potrohuk első szelvényén a hasi oldalon két félkör alakú lemez található, amelyet izmok és inak nyalábolnak körül. Ha az állat megfeszíti ezeket az izmokat, a kemény kitinhártyák behorpadnak, majd



Hátsó lábát felhúzva muzsikál a sáska. Combjának belső felén apró recék sorakoznak, ezeket dörzsöli szárnyának valamelyik kiálló eréhez. Különös hegedűjével magasabb hangokat kelthet, mint a zongora legrövidebb húrja

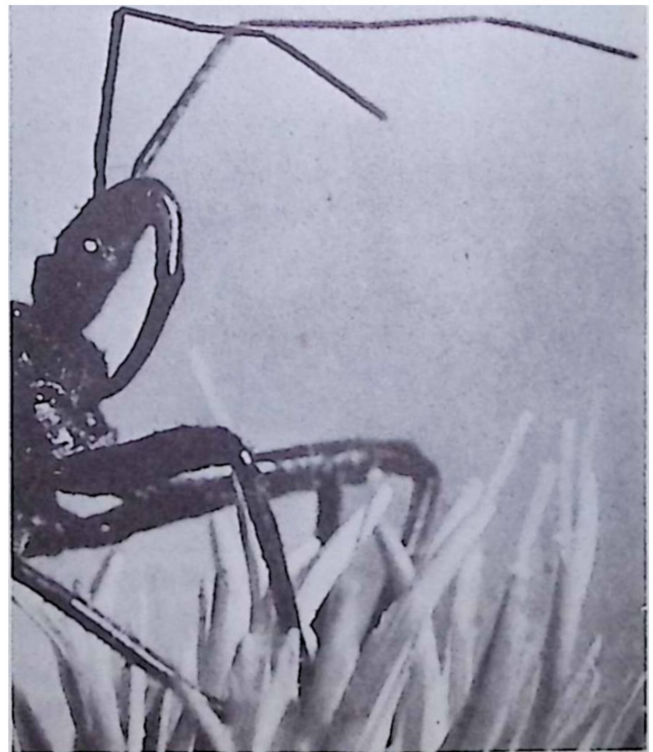




A ciripelő rovarok közé tartozik a nagy hőscincér is. Ha fejével bólogat, első és második torszelvényének parányi barázdái úgy súrlódnak össze, mintha két reszelő mozogna egymáson. A rovar mellett a barázdalemez kinagyított képe látható

hirtelen visszapattannak. A különös zaj egyéni jellegét a kitinlemezek vastagsága, rugalmassága és domborulata szabja meg.

Ahogyan a földön húzott kerti locsolócső jellegzetes súrlódó hangot ad, valami hasonló módszernél kötöttek ki a törzsfejlődés folyamán azok a poloskafajok, amelyek hosszú szívókájukat injekciós tű módjára szúrják növénybe vagy állatba. Pihenés közben úgy keltenek hangot, hogy szívókájukat lehajlítva visszagörbítik, és hasi oldalukon egy recés barázdá-



A pengetős hangszerek mintájára a mezei poloska a hasi oldalán húzódó parányi kitinlécek során húzza végig szívóját. Ettől a rovar teste rezegni kezd, bár a surrogó hang olyan halk, hogy csak a szomszédja hallhatja meg

ban mozgatják. Ez a surrogó zaj elég gyenge, csak közvetlen közelről hallható.

A rákoknak sincs különb hangkeltő berendezésük. Minthogy első pár lábuk az évmilliók folyamán ollóvá alakult, ezt dörzsölik a bordás fejtori páncélhoz. Nem csoda, hogy olyan hang keletkezik, mint amikor egy rozsdás lovagi páncél karját emeli valaki. A garnéla rák valamivel hatásosabb trükköt alkalmaz: ollóját csattogtatja, de nem akárhogyan. Az olló két szárának metszéspontjához közel, az alsó, merev száron apró üreg van, amelybe pontosan beleillik a felső szár fogszerű dudora. Ha a rák összecsukja ollóját, a két rész egymásba simul, amikor pedig hirtelen kinyitja, ugyanolyan csattanás hallatszik, mint egy pezsgősüveg felnyitásakor.

A hártyás szárnyú rovaroknak nincs szükségük külön hangszerre, hiszen a rezgéskeltő ott van a hátukon. Ha nem repülnek, szárnyaik gyors rezegtetésével kelthetnek hangokat. A. Haas müncheni kutató megfigyelte, hogy minden hajnalban különös „müezzin" száll a méhkaptár tetejére. Torát és potrohát a magasba emelve, fejét a deszkafalhoz támasztja, majd rezegtetni kezdi szárnyait. A vibráló hang lassan átterjed az egész kaptárra, és a méhek felébrednek, mint hajdan az igazhitű törökök a müezzin kora reggeli imájára. Az óriás méhcsaládban ez valószínűleg „nyugdíjas" foglalkozás: egyhónapos megfigyelés során mindig ugyanaz a méhecske szállt a kaptárra.

Túlszárnyalják a zongorát

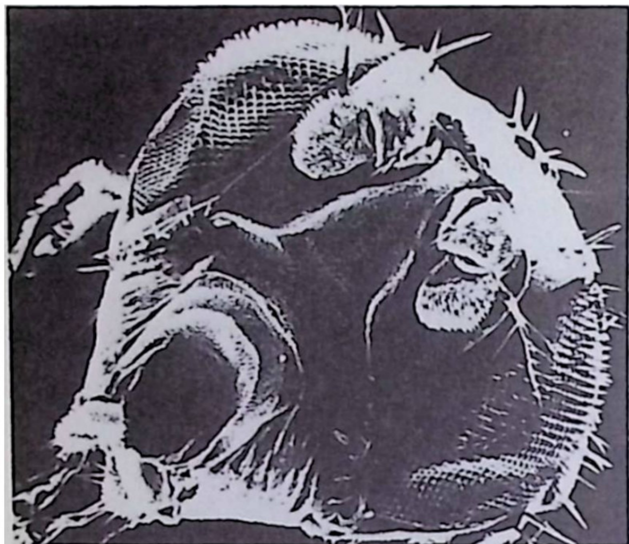
Amikor a szoprán énekesnő „kivágja" a magas *c*-t, a közönség elragadtatottan tapsol. Ez az emberi hangszálak csúcsteljesítménye: másodpercenként 1046,5-szer rezegnek. De annak az énekesnek is kijár a taps, aki zengő basszus hangon szólaltatja meg a 73,58 Hz-es rezgésszámú *d* hangot. Itt van a legmélyebb emberi hang határa.

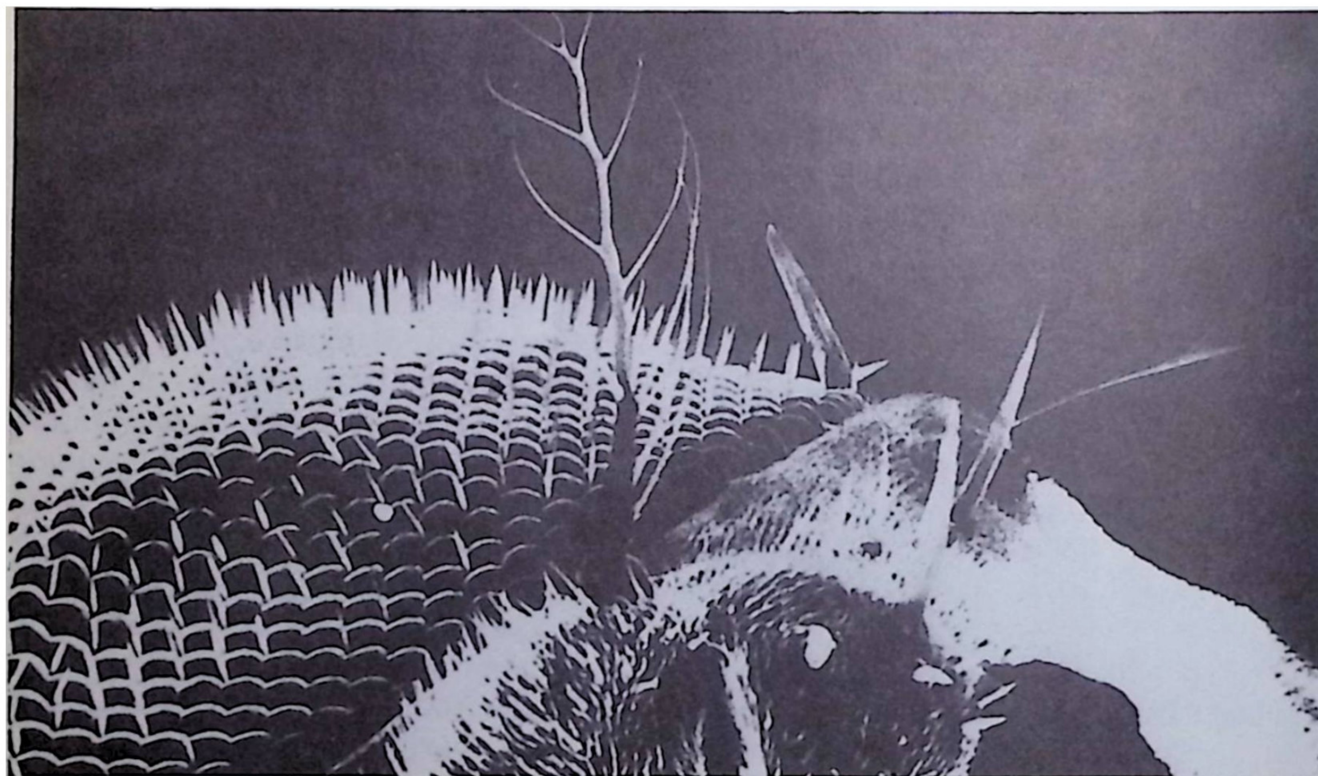
Az állatvilág nem elégedett meg ilyen szűk hangtartománnyal. Szinte minden lehetőséget kipróbált a hangkeltésre, így a különféle rezgésszámokból hézagmentesen lehetne összeilleszteni az egyre emelkedő hangok végtelenbe futó sorát. A határtalanság persze csak elvi lehetőség. A valóságban a delfinek hallhatatlan füttyeinél magasabb hangokat még nem ismernek jelenleg a kutatók. Az elektronikus rezgésszámelemző mérések azonban már a levélvágó hangyáknál is érdekes hangokat mutattak ki. Minden egyes potrohemeléssel kb. 30–40 barázdán percegtetik végig toruk tűjét. Egy-egy kattanás 0,0001 mp-ig tart, és 0,001–0,0015 mp-es szünet választja el a következőtől. Másodpercenként 4–7 kattanási sorozattal a hangyák olyan magas hangokat keltenek, melyeket emberi fül alig tud felfogni, többszörös rezgésszámú, halk felhangjaik között pedig 20–60 ezer Hz-es rezgésszámú ultrahangok is megszólalnak.

A tücskök 2–6 ezer Hz-es rezgéstartományban muzsikálnak, tehát a zongora négyvonalas *c* hangjánál jóval magasabbakat is megszólaltatnak apró hegedűjükön. A sáskák viszont csak a 12 ezer Hz-es hangokig jutottak el, de a zongora 4186 Hz-es legfelső *c* hangját így is túlszárnyalják. Általában a 4–8 ezer Hz-es sávban muzsikálnak a legszívesebben. A szöcskék nemcsak emberi füllel hallható hangokat bocsátanak ki. Muzsikájuk akár 100 ezer Hz-ig is felfuthat az ultrahangok tartományában, ami már a denevérek és a delfinek hallhatatlan kiáltásainak rezgésszámával vetekszik.

A rezgő szárnyakon ébredő „dallamok" elsősorban attól függnek, hogy a hajszálvékony legyezők milyen gyors

ütemben csapnak fel-alá a levegőben. Minél sebesebb a vibrálás, annál magasabb a hang. A szúnyogok például különleges szárnymozgató izmaik segítségével másodpercenként 300–500-szor rezegtetik szárnyukat, így a C-dúr skálán az *e* és a *h* hang között játszanak. A szerelmes muslicák hímjei hasonló hangterjedelemben udvarolnak a kiválasztott nősténynek. Dr. H. C. Bennet-Clark és munkatársainak mérése szerint általában 330 Hz-es hangon zümmögtetik szárnyukat. Egyes fajok azonban 575 Hz-es hangot, mások pedig a 225 Hz-eset választották igéző énekül. Vannak találékonyabb trubadúrok is. Egy másik muslicafaj, a Drosophila paramelanica például a nőstény nyomában sétálva egy ablaküvegen, több másodpercen keresztül zümmög; az első tizedmásodpercben 440 Hz-en kezdi (éppen a normál *a* hangon!), majd a 265 Hz-es mélyebb hangra tér át, azután ezt a két hangot váltogatja néhány másodpercen keresztül.





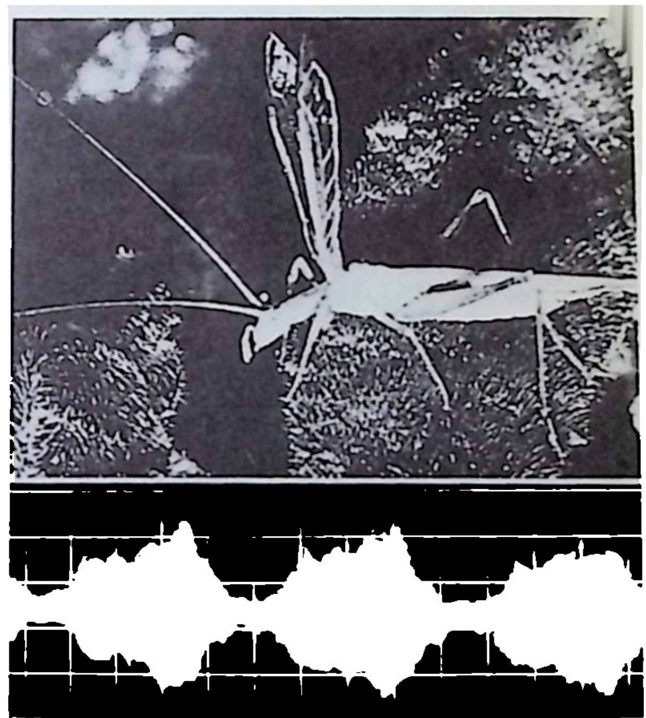
Nem csoda, hogy a nőstény muslica érdeklődését nehéz felkelteni a zümmögő szerenáddal. Kicsit nagyothall szegény! Csak olyan erős hangokat érzékel, amilyennek mi a kazánkovácsolás dübörgését halljuk. Ezeket a rezgéseket a rövid bunkós csápból kiálló csápsertével fogja fel, amely a térhatású elektronmikroszkópos felvételen apró faágra emlékeztet. A csápserte a hím hangjával egy ütemben rezeg (lent)



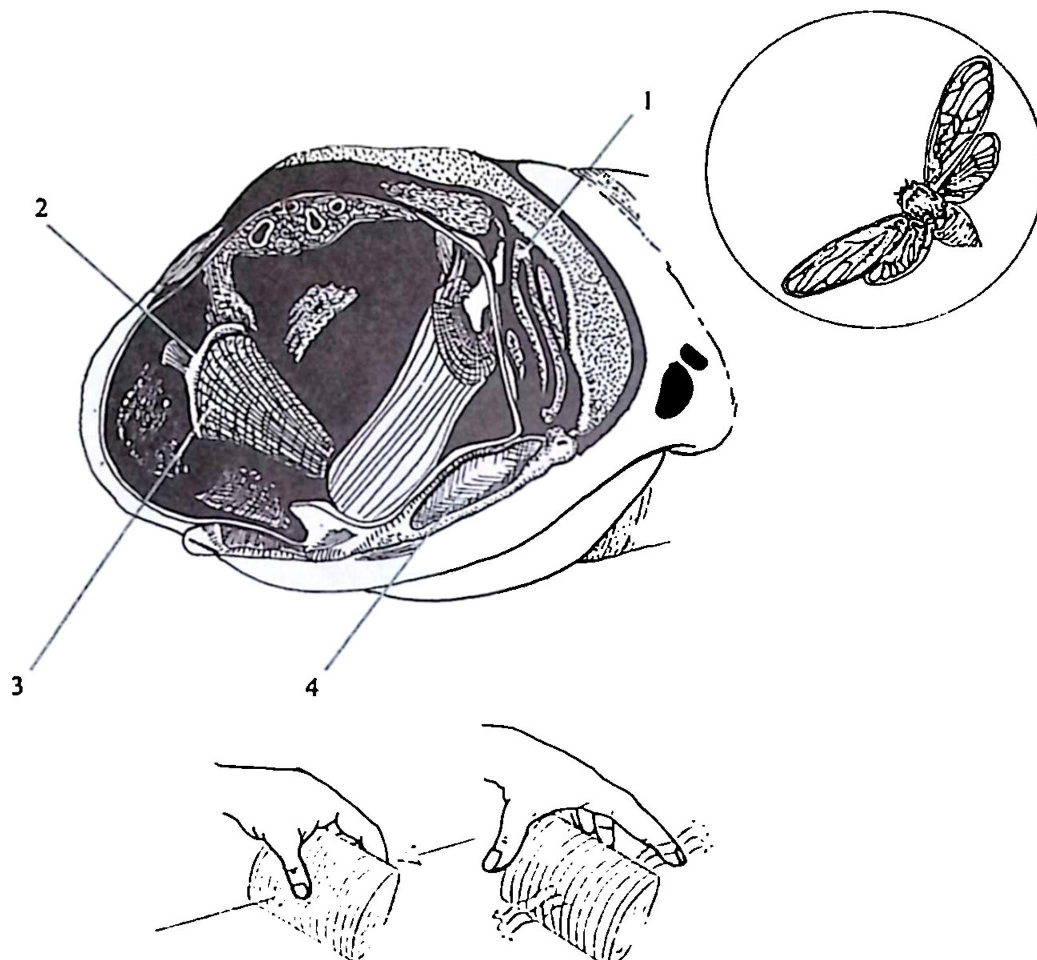
Ritka pillanatkép egy udvarló muslicáról. Az üvegedény falán a Drosophila melanogaster hímje kitartóan lengeti jobb szárnyát, és másodpercenként 330 rezgést kelt. Az edény alján a nőstény meglehetősen közömbösen hallgatja. A felvétel villanófénnyel készült, az elmozduló szárnyat a sötét folt jelzi. A két mozdulat közötti időkülönbség 0,002 másodperc volt

Minél nagyobb légtömeget mozgat meg a rezgés, annál erősebb hang keletkezik. A rovarok különféle szerkezeti megoldásokat kísérleteztek ki hangerejük növelésére. Darwin a brazíliai őserdőben sétálva már 18 méterről hallotta az Ageronia trópusi lepkefaj kiáltását. Az éneklő lombszöcske nőstényе 38 méter távolságból észreveszi a hevesen udvarló hím hangját, a magányos lótücsök hangja pedig 300–350 méterre is elhallatszik. A parányi levélvágó hangyák sem magukban percegnek csendesen. Egy centiméter távolságból olyan zajosnak tűnnek, mint egy járművekkel zsúfolt, forgalmas utca, a lótücsök hangja pedig 10–20 cm közelről már fájdalomérzetet kelt kb. 130 decibel hangerejével. Az olasz tücsök a rendkívüli mozgékonyság látszatát éri el muzsikáló szerkezetével. Hol itt, hol ott hangzik fel hangja a fűből, miközben el sem mozdul a helyéről. Szárnyait ugyanis úgy támasztja fel, mint egy hangversenyzongora fedelét, így testének helyzete szabja meg, hogy ciripelése melyik irányból hangzik a legerősebben.

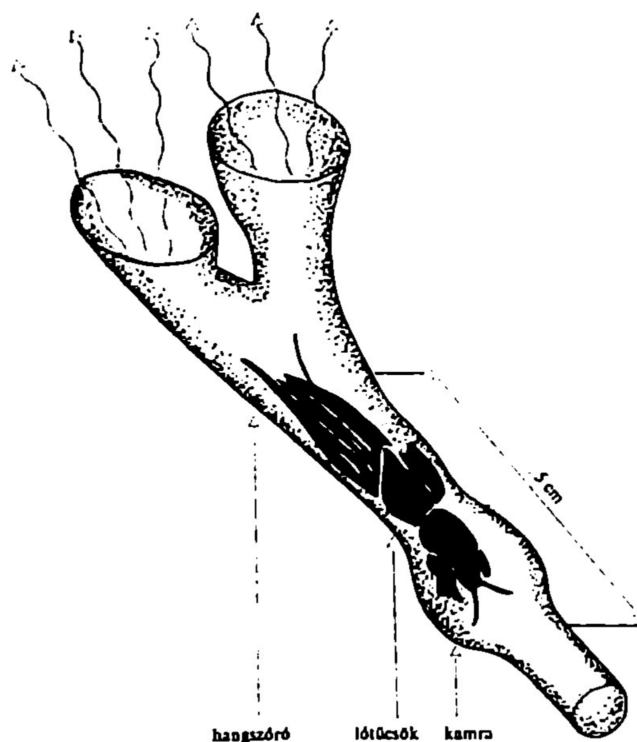
A fatönkök szélén „doboló" énekes kabóca az első helyre verekedte fel magát a muzsikáló rovarok hangerőversenyében. Potrohán három üregrezonátor erősíti fel a hangokat. Ha a vékony, rezgő hártyákkal borított üregeket felszúrják, a kabóca elnémul. Középső „zeneszekrényének" térfogata kb. 1 cm^3, ami a helykihasználás szempontjából már nagy áldozat egy rovartól. De ezzel a szerkezet



Két szárnyát dörzsöli össze az olasz tücsök, amikor ciripelő éjszakai szerenádot ad. Ezek a hangok egy elektronikus műszer képernyőjén váltak láthatóvá. A hangerősség ingadozásait a fehér területek jelzik



A kabóca „kattogtató" szerkezete az első potrohszelvény üregében helyezkedik el. Vastag izomkötege (3) a húr közvetítésével (2) behúzza, majd visszaengedi a rugalmas kitinburkolatot (1). Ekkor ugyanolyan kattanás hallatszik, mintha egy behorpasztott bádogdobozt engednének el hirtelen. A rovar hallószerve a potroh alsó felén található (4)



A hím lótücsök kettős kijáratú üreget vág magának a földbe, majd napnyugta után legalább fél óráig „hangol", hogy felmelegítse testét. Ezután egy órán át sugározza „műsorát" kb. 3500 Hz-es rezgésszámon olyan hangerővel, amely nyugodt időben 600 méter távolságban is hallható

megoldással például az indiai kabóca hangja akár egy kilométer távolságra is elhallatszik.

Nem véletlen, hogy az átlátszó testű garnélarákok egyik faját a tengerparti emberek pisztolyos ráknak is nevezik. Az üvegpalackdugó-szerkezet akkorákat csattan, mint egy légpuska, s ha tengervízzel töltött palackba helyezik a pisztolyos rákot, még a palackot is széttöri egyetlen durranással. A lótücskök

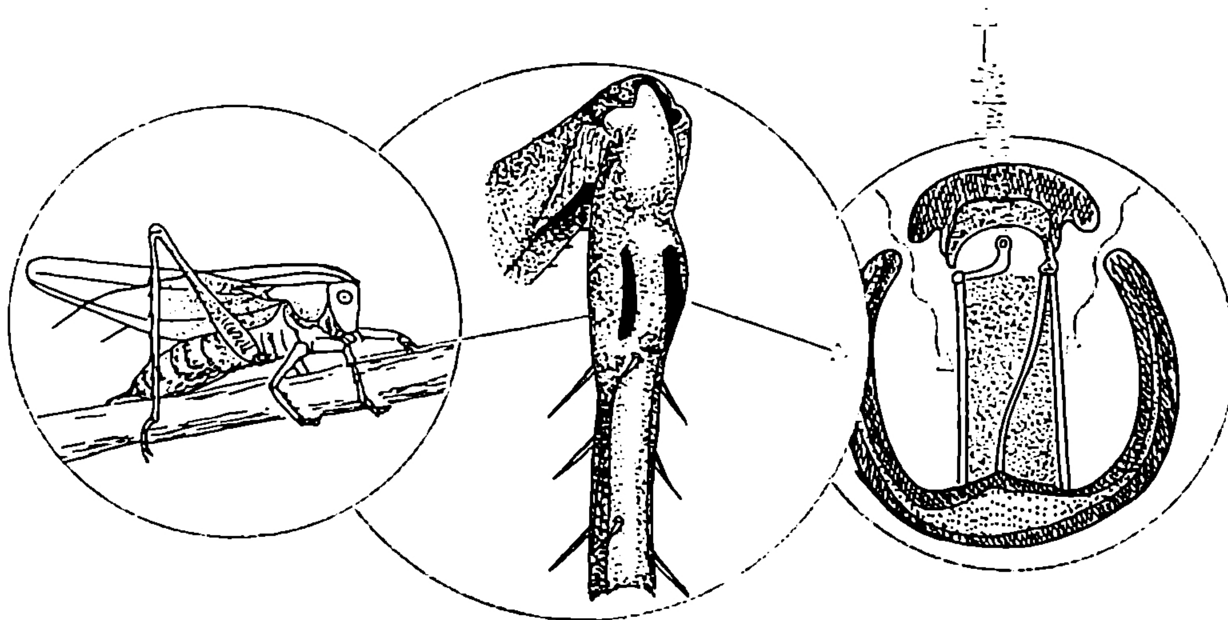
egyik faja (a Gryllotalpa vinese) még érdekesebb hangerősítőt kísérletezett ki a törzsfejlődés során. H. C. Bennet-Clark angol kutató vizsgálatai szerint olyan alagutat készít a föld alatt, amely két ággal fut a felszínre. Ha a rovar az elágazásban foglal helyet, a kettős alagút különleges akusztikai erősítőrendszert képez. Egy centiméterre föld alatti hangszórójától olyan erős hang hallatszik, mint amikor a metró befut az állomásra (90 dB). De ha a zajos tücsköt kiemelik alagútjából, hangereje azonnal ezredrészére csökken.

A „varázsszem" üzenete

A rovarok rendszerint a lábukon hordják a fülüket. A szöcske és a tücsök elülső lábszárán két parányi rés található. Ezeken a réseken átjut a hang abba a páros üregbe, amelyet a rovar légcsőrendszere, a trachea vékony hártyája bélel. A két üreget elválasztó kettős hártya (a timpanum) a legfinomabb cigarettapapírnál is vékonyabb, mindössze 2–3 ezredmilliméter vastag. Ha a hangok hatására remegni kezd, kettős fala között az érzőszőrök ütemesen elgörbülnek, így villamos jelekké alakítva továbbítják a rezgéseket az állat központi idegdúcába.

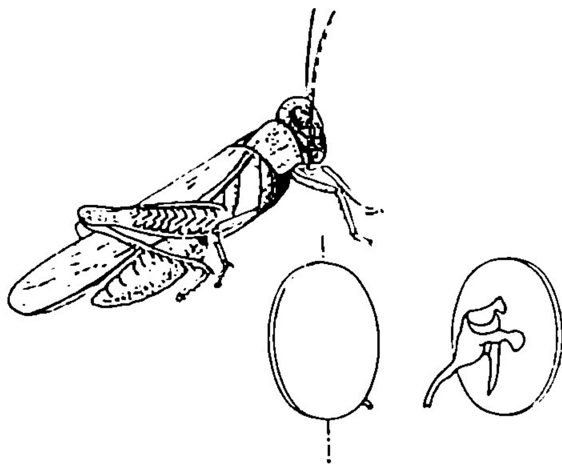
Ezek a parányi fülek olyan tökéletes technikai remekművek, amelyeknek érzékenységével csak a legjobb mikrofonok vetekedhetnek. A gombostűfejnyi szerkezet már akkor is érzékeli a hangokat, ha a hártya mindössze ezermilliomod centiméterrel domborodik ki a lüktető légnyomás hatására! Ez olyan hihetetlenül kis érték, hogy az atomok átlagos átmérője is tízszer nagyobb ennél.

A muzsikus rovarok általában nemcsak arra a rezgéstartományra érzékenyek, amely zenéjüket is jellemzi. A sáskafélék 300-tól 20 000 Hz-ig hallják a hangokat, de egyes mérések szerint még a 90 000 Hz-es ultrahangrezgéseket is érzékelik. A tücskök 300-tól 8000 Hz-ig, a szöcskék pedig 800-tól 45 000 Hz-ig fogják fel a levegő rezgéseit. A szöcskék hallástartományának felső határa tehát már mesz-



A zöld szöcske mindkét lábán két párhuzamos rés látható. Ezek a rovar fülnyílásai, amelyek a kettős légkamrába vezetnek. Közöttük két rachea-csövecske húzódik. Hajszálvékony faluk a hanghullámok hatására rezegni kezd. Ezt a mozgást a görbült érzőszőrök sora alakítja át villamos jelekké

sze, a számunkra hallhatatlan ultrahangok birodalmába nyúlik. A csótányon végzett mikroelektronikai vizsgálatok szerint hallószervéből kétféle idegszál fut a központi idegrendszer felé: az egyik mély hangokról, 30–200 Hz-es rezgésekről ad hírt, a másik viszont 200-tól 5000 Hz-ig fogja fel a hangokat.

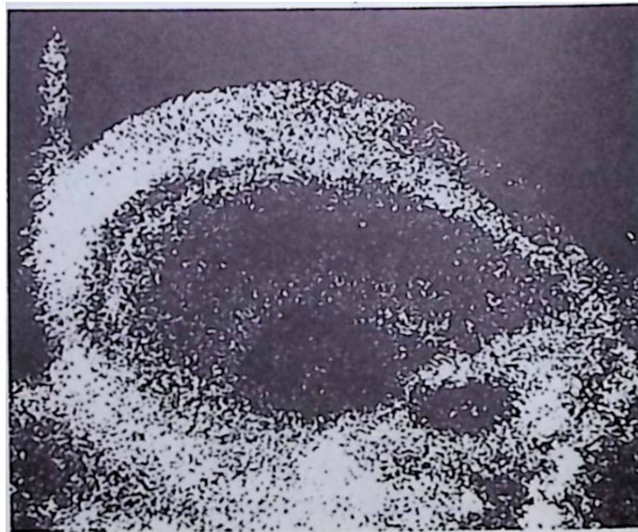


A sáskák parányi fülében a leheletvékony dobhártyát és a hozzá tapadó hangátalakító készüléket csak elektronmikroszkóppal sikerült feltárni. Működési elve egyszerű: a hanghullámok a dobhártyát rezegtetik, és az átalakító szervből már villamos jelek távoznak a hallóidegszálon



A sáska a „derekán" hordja a fülét. A képen a combtő felett és a szárnyak alatt, nagyjából középen látható. A sötét üreget ferdén zárja le a timpanális hártya, tehát a sáska furcsa módon hátrafelé fülel. A mérések szerint a 3–6000 és a 15–20 000 Hz-es rezgésekre a legérzékenyebb





Lézersugaras megvilágítással sikerült láthatóvá tenni, hogyan rezeg a sáska hallóhártyája. Ezen a két, úgynevezett hologramfelvételen a fekete és fehér sávok a körkörösen kialakult hullámokat mutatják. A baloldali képen 3250 Hz, a jobboldalin 4000 Hz rezgésszámú hang érte a hallószervet

De a kutatókban régóta él a gyanú, hogy a frekvenciavizsgálatok nem adnak jellemző képet a rovarok hallószervének érzékenységéről. R. J. Pumphrey és A. F. Rawdon-Smith már 1939-ben arra a következtetésre jutott, hogy a rovarmuzsikában nem a rezgésszámok, hanem a hangerőváltozások hordozzák a híreket. Így a hallószervnek is inkább ezeket a hangerőváltozásokat kell megkülönböztetnie. A rovar számára tehát nem a hangok magassága, hanem az erőssége a fontos. Ez azért érdekes, mert az emberi fül inkább a hangok magasságát különbözteti meg rendkívül finoman, de kevésbé ismeri fel a hangerő változásait.

Ezt a feltevést K. D. Roeder és A. E. Treat kísérletei is megerősítették. A rovarnőstény valahogy úgy érzékeli a hímek szerelmes udvarló muzsikáját, mintha valaki egy lehalkított rádiókészülék előtt ülve, a villogó varázsszemet figyelné. A varázsszem zöld „legyezője" nem a hangmagasság változásait, hanem a pillanatnyi hangerősséget jelzi. Ezért vibrál olyan fürgén, ha egy zenekar játszik, riportnál viszont hirtelen szétnyílva jelzi a szavak közötti szüneteket. Kis gyakorlattal bárki megmondhatja az elnémított rádióra pillantva, hogy éppen zenét vagy beszédet közvetítenek-e. A rovar központi idegrendszerébe hasonló villamos jeleket küldenek a hallószerv idegszálai. A rovar ezt a képzeletbeli belső varázsszemet figyeli, amikor arra kíváncsi, mit üzennek a távoli hangok.

De miért muzsikálnak a rovarfajok különböző hangokon? Fizikai szempontból ezek a frekvenciák csak arra kellenek, hogy a rovar rájuk tűzze „névjegyét" a hangerőváltozások alakjában. S ezért nem tévesztik össze egymás hangját. Ahogy mi is választhatunk a hullámsáv beállításával a Kossuth vagy a Petőfi rádió műsora között. A világ műsorszóró adóinak hullámhosszait nemzetközi egyezmény alapján osztották fel, hogy ne zavarják egymást. Az egyes rovarfajok híradástechnikai rendszere is meghatározott hanghullámokra van beállítva, így minden rovar a saját fajára jellemző hangjeleket foghatja fel.

Két dallam egy légcsőben

A szakkönyvek általában a fúvós hangszerek működéséhez hasonlítják az énekesmadarak bámulatosan hajlékony hangképzését, de baj van az elmélettel. A klarinét hangmagasságát a csőben vibráló levegőoszlop saját rezgésszáma határozza meg. Minél több lyukat takar le ujjaival a zenész, annál hosszabbá válik a



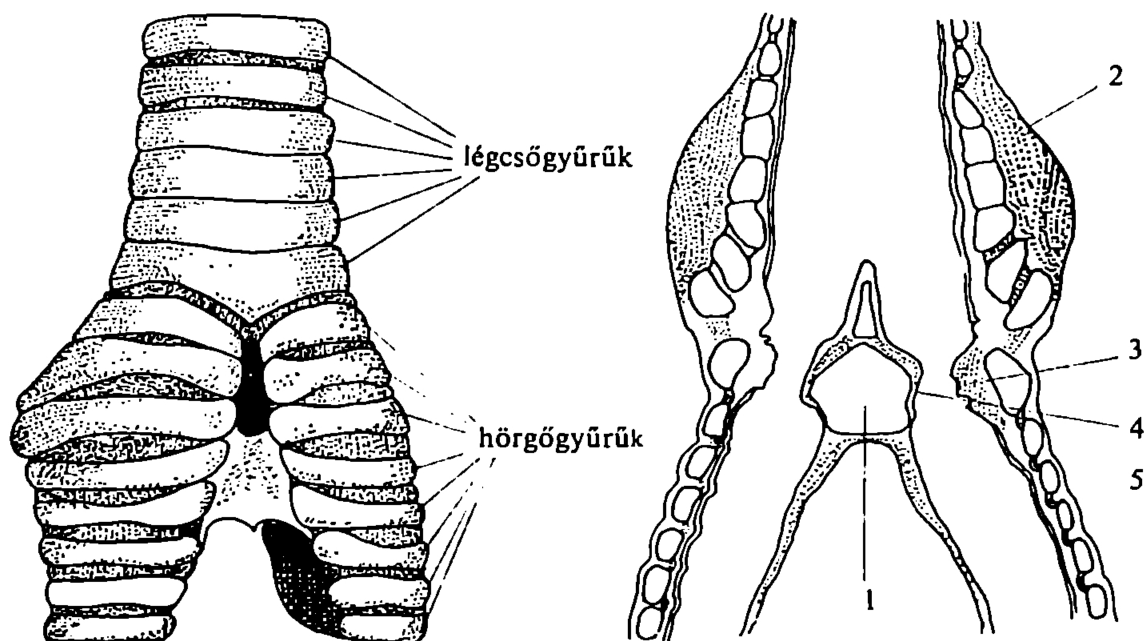
Nem kell társat keresnie a vörösbegynek, ha kettőst akar énekelni. Torkában két hangképző szerv található, amelyek egyszerre is működhetnek. A rigófélék családjába tartozó madár éneke rendszerint a zongora legfelső hangjánál egy oktávval magasabban szárnyal

levegőoszlop, annál mélyebb hang keletkezik. A hangszín bonyolultabb dolog. A hangtani törvények értelmében az alapfrekvencián kívül két-háromszoros rezgésszámú hangok – felhangok – is keletkeznek a levegőoszlopban. A felhangok aránya és erőssége alapján tudjuk megkülönböztetni például az oboát a klarinéttól még akkor is, ha mindkettő ugyanazon a hangon szól.

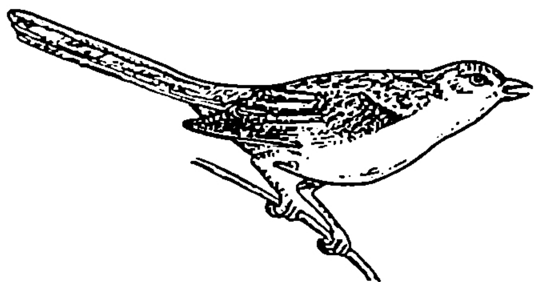
Ha a madarak is így énekelnének, olyan lenne a nyakuk, mint egy gumicső. Az erdei szürkebegynek, amely kétoktávos hangterjedelemben énekel, a legmélyebb hangoknál a fizika törvényei szerint négyszeresére kellene kinyújtania a nyakát. Másrészt az énekesmadarak olyan tiszta (sinusos) hangokat keltenek, amelyekben nincsenek felhangok. A kiáramló levegőnek csak egyetlen rezgésszáma van, ami a fúvós hangszereknél elképzelhetetlen.

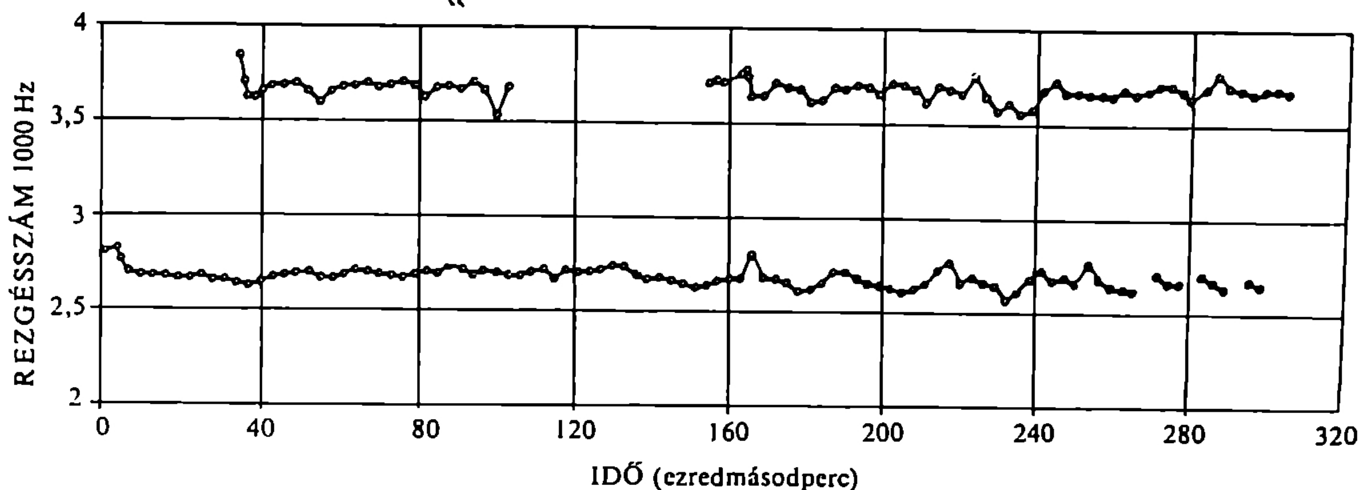
Akkor inkább az emberi hangképzésre hasonlít a madarak éneke? C. H. Greenewalt amerikai kutató szerint sem az előbbi, sem az utóbbi elmélet nem jöhet szóba. A madarak énekét finom műszerekkel elemezve, egészen különleges hangképző rendszert derített fel. A madár gégefője ún. alsó gégefő, mert az emberével ellentétben nem a nyak végében, vagyis „fent" helyezkedik el, hanem „lent", ahol a tüdőből jövő két hörgő a légcsőbe torkollik. Az alsó gégefő mindkét oldalán önálló izomrendszer és ideghálózat van, így a madár mindkét hörgőben egymástól függetlenül vezérelheti a levegő útját. Duettet énekelhet önmagával!

Ez nemcsak biológiai lehetőség. A valóságban is így van, amint ezt Greenewalt frekvenciamérései is igazolták. Az amerikai gezerigó például az egyik felvételen úgy énekelt önmagával kettőst, hogy egyik dallamvonala a 2600–2800 Hz-es hangtartományban csengett (mintha a



A hangképzés kellékei egy énekesmadár gégefőjében, ahol légcsőgyűrűk és a hörgőgyűrűk találkoznak. A kulcscsonti légzsák nyúlványa (1) kétoldalt rugalmas belső hangszalaggal, timpanális hártyával (4) zárhatja el a két hörgő (5) torkolati nyílását. A belső hangszalaggal szemben az izmokkal (2) mozgatott külső ajkak (3) alkotják a légzár másik felét. Így két „torka" van a madárnak az énekléshez





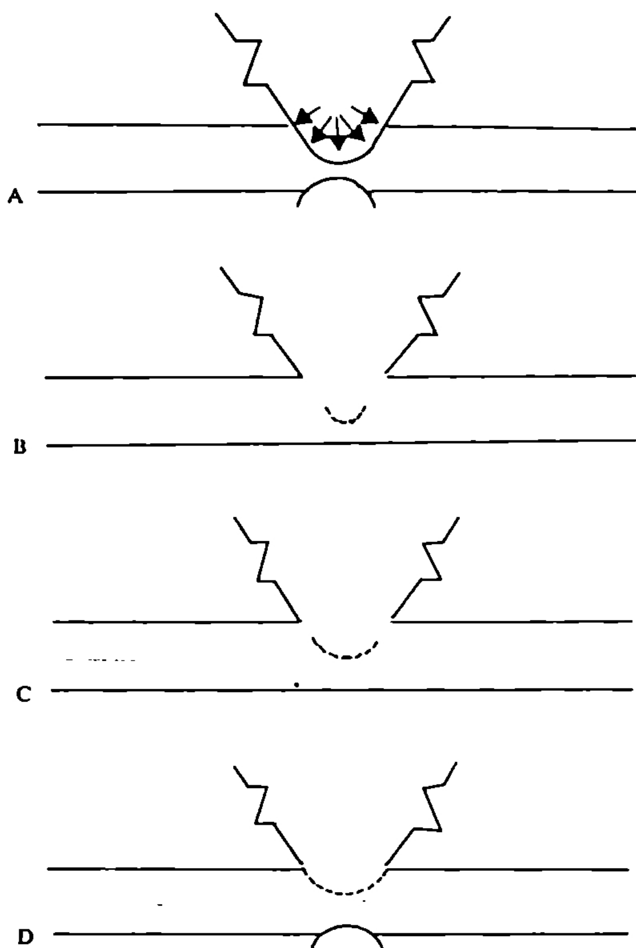
Csúfolódó rigó kettős éneke. A két kitartott hang valószínűleg csak azért vibrál, mert az élő hangszer nem olyan pontosan működik, mint egy automata. Az elektronikus úton rögzített kettős dallamfüzér a legmeggyőzőbb bizonyíték arra, hogy bizonyos madárfajok egyszerre két torokból énekelhetnek

zongora legmagasabb oktávján az *e* és *f* hang között trillázott volna), másik dallamfüzére viszont a 3500–3800 Hz-es hullámsávban „kísérte" a dallamot.

A titok nyitja tehát a kettős gégefőben rejlik. A részletes anatómiai vizsgálat szerint az énekesmadár gégéjét a kulcscsonti légzsák rugalmas nyúlványa tölti ki. A gége porcos ürege kétoldalt elvékonyodik, és kissé kidudorodik. Ezek az „ablakok" – az ún. timpanális hártyák – a gégefő izmaival külön-külön is megfeszíthetők és elernyeszthetők. Velük szemben a két hörgő bejáratánál egy-egy izmos „ajak" nyúlik ki a gégefő falából. Megfelelő izmok segítségével ezek szintén önállóan mozgathatók. Ennyi „mechanika" már elég is a madárnak, hogy könnyedén képezze szebbnél szebb dallamait.

Ha énekelni akar, teleszívja tüdejét és légzsákjait levegővel. A kulcscsont alatti légzsák megfeszül, mint a felfújt léggömb, és légnyomása hozzáfeszíti a két timpanális hártyát a szemközti ajkakhoz. A levegő most nem tud elszökni a tüdőből. Ekkor azonban a gégefő izmaival valamelyik hártyát megfeszíti, ez kissé visszahúzódik, és szabaddá teszi az utat a tüdőből kiáramló levegő előtt. A légsugárban rezegni kezd a hártya, így a továbbhaladó levegő is rezegni kezd: megszületik a hang. Ha a madár mindkét hártyáját megfeszíti, egyszerre két hang keletkezik. Fizikai szempontból kissé leegyszerűsített magyarázata ez a hangképzésnek, de jól tükrözi a valóságot.

A különleges gégefő azonban egyéb zenei bravúrokra is képes. Az énekesmadarak nemcsak a „glissandó"-kat képezik könnyedén, amikor az emelkedő vagy ereszkedő dallamok szinte folyamatosan siklanak egyik hangról a másikra a



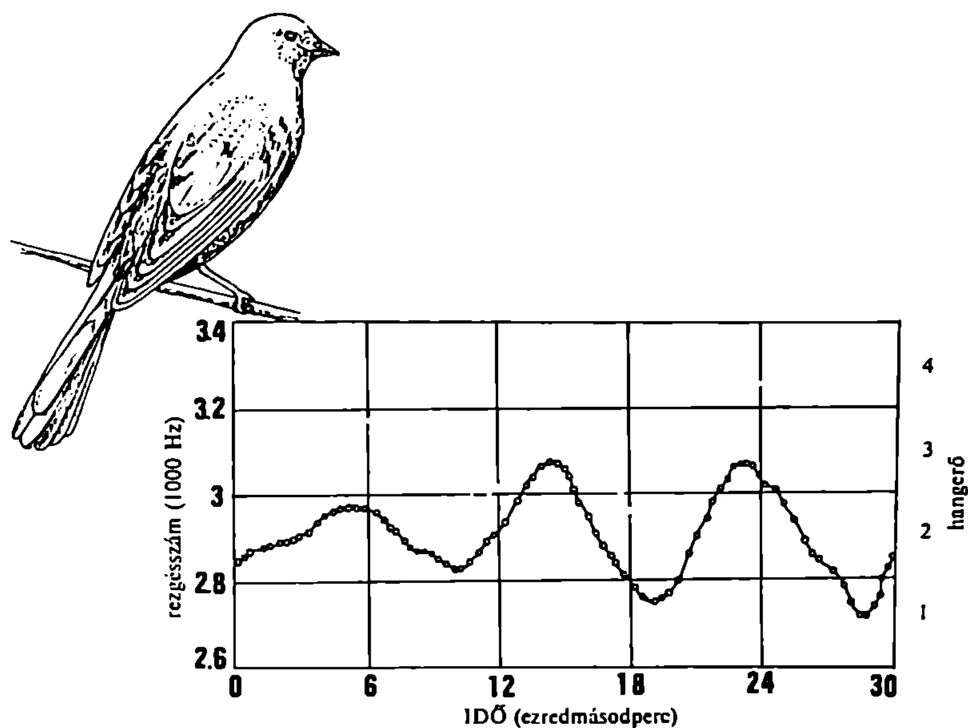
A gégefő működésének egyszerű modellje. Felülről a légzsák nyúlványának légnyomása feszíti a timpanális hártyát. Alulról az ajak alkotja a „tolózárat" a légáramlat útjában (A). Ha kicsi a hangrés, és a hártya lazán nyúlik be, halk és alacsony hang keletkezik (B). Minél jobban megfeszül a hártya, annál szaporább és erősebb rezgések keletkeznek (C). Bizonyos hangmagasság felett a hangerő már nem fokozható. Ez az „átváltási pont". Beljebb tolódik az ajak, ismét szűkül a rés. Most még magasabb, de halkabb hangok keletkeznek „negatív visszacsatolással" (D)

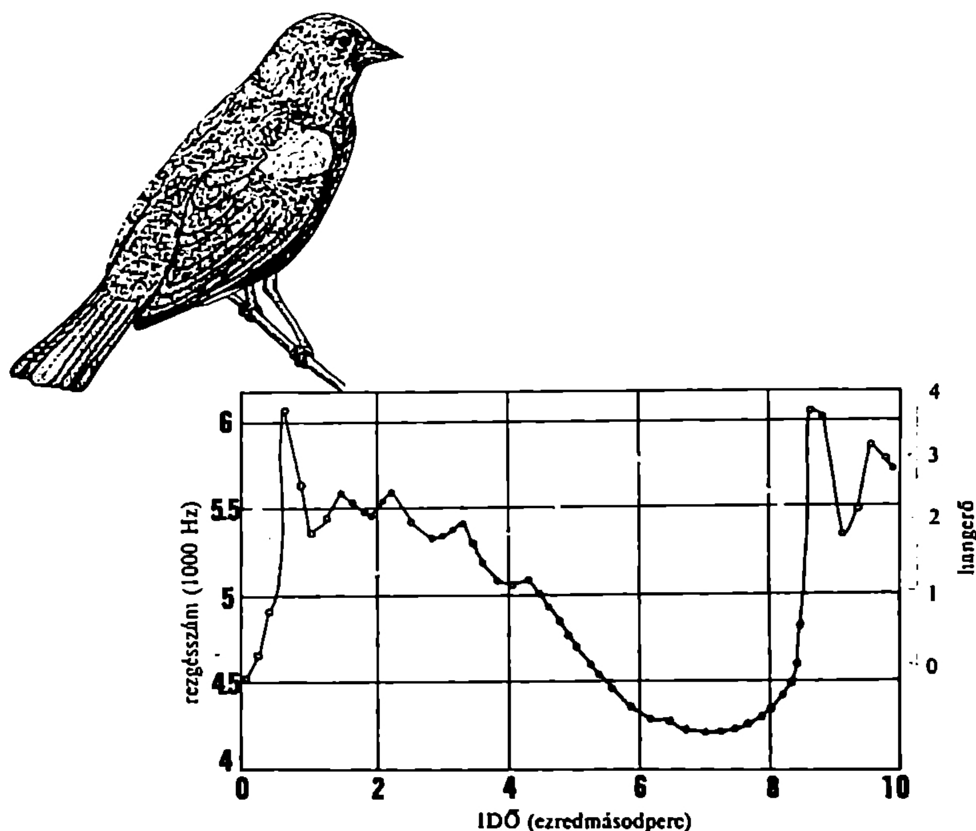
közbeeső frekvenciák futólagos érintésével. Hangerejüket is észrevétlen átmenetekkel képesek változtatni ezalatt, így a dallam elhalkul vagy felerősödik. Amint egyre magasabb hangokat énekel a madár, egyre erősebben feszíti gégefőjének valamelyik hártyáját. Ez egyre gyorsabban pattan vissza a levegőáramlásban. De minél feszesebb lesz a hártya-membrán, annál inkább eltávolodik a szemközti ajaktól. Egyre több levegő tódul ki. Minél nagyobb tömegű levegő rezeg a légcsőben, annál erősebb lesz a hang. Az emelkedő dallammal együtt tehát a hangerő is emelkedik.

De ha ez így megy tovább, egyszer csak bekövetkezik a pillanat, amikor a hártya már olyan feszessé válik, hogy az egyre táguló hörgőnyíláson át elszökik a levegő anélkül, hogy megrezegtetné a membránt. Az erdei szürkebegy énekében ez kb. 6800 Hz-en következik be. Ennél magasabb hangon nem énekelhet a madár? De igen! Csakhogy ekkor lép működésbe a hörgő falába épített ajak. A gégefő izmai kissé beljebb ékelik a nyílásba, így ismét szűkül a hangrés, halkabbá válik a hang. Ettől kezdve tehát akármilyen magasra szárnyal a madár hangja, hangereje már nem növekedhet, csak csökkenhet.

Ez a különös „váltópont" az emelkedő rezgésszámok lejtőjén pontosan meghatározza, hogy a madár párhuzamosan futtatja-e hangját és hangerejét, vagy egyre magasabb hangokra kapaszkodva, egyre halkabban énekel. A gégefő membránjának feszültségváltozásai és a szemközti ajak „eltorlaszoló" mozgásának együttes összjátéka természetesen számtalan változatra ad lehetőséget. Ha például a madár egyetlen hangot akar egyre halkabban énekelni, rezgő hártyájának feszültségét nem változatja, így azonos magasságú hang keletkezik. De közben az ajkat egyre beljebb szorítja a hörgő nyílásába: csökken a hangrés, halkul az ének.

A vizsgálatokból arra is fény derült, milyen teljesítményekre képes ez a csodálatos hangszer. Az egyik madárfaj például egytized másodperces „glug" kiáltásával egyszerre négy oktávot ölel fel. Hangja közben 750 Hz-től 10 700 Hz rezgésig terjed, minden eddig ismert ma-





Ha a klarinétmadár csak a timpanális hártyáját rezegteti, dallamának hangmagasság-változásait (fekete körök) szinte önműködően követik a hangerő változásai (kék körök). Minél magasabbra szárnyal a hang, annál erősebbé válik (A). A hangmagasság és a hangerő fordított arányú változásait a pirosvállú csiröge énekének diagramja szemlélteti. Ilyen magas rezgésszámokon már „negatív visszacsatolással" működik a madártorok (B)

dárhangnál magasabban. Végsősoron nincs mit csodálkozni, hogy a madártan kutatói, az ornitológusok nem ismerték eddig pontosan a madárének titkát. A gégefő egyszerűnek tűnő felépítése ezt nem is árulja el. Csak korunk rendkívül érzékeny elektronikus műszereivel vált lehetővé, hogy a madárhangokat szinte ezredmásodperces pontossággal „felszeleteljék", és végre fizikailag is helyesen magyarázzák az éneklő madarak gégefőjének működését.

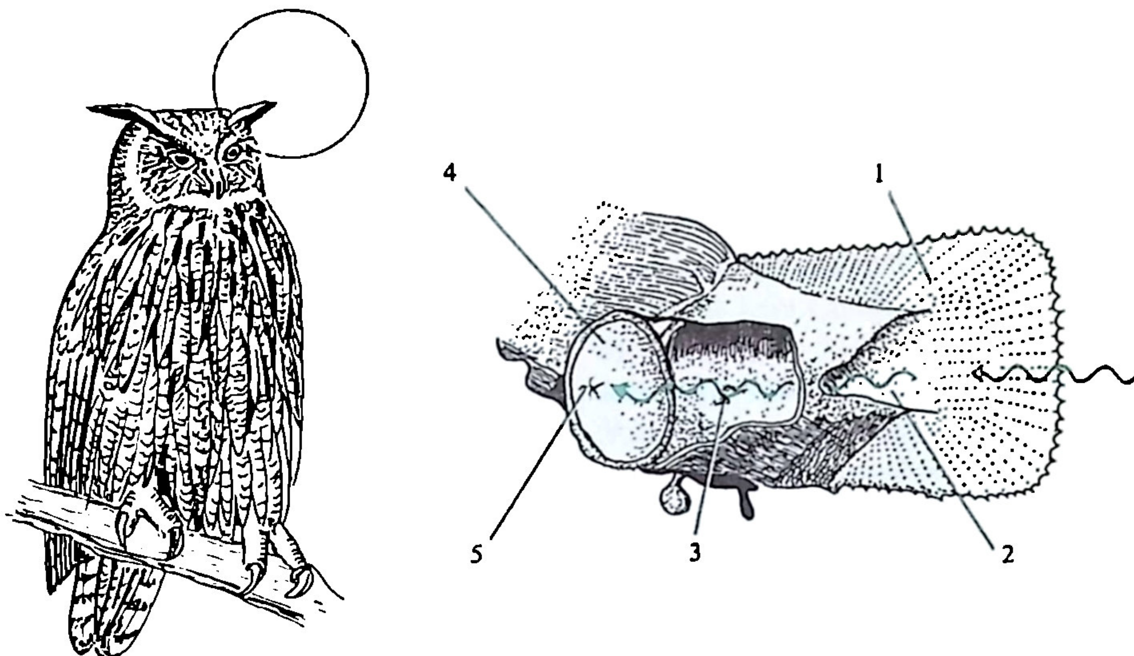
De ezzel még nincs vége a meglepetéseknek! A Magyar Tudományos Akadémia állathangkutató laboratóriumában olyan magnetofonfelvétel is található, amely egyetlen erdei pacsirta kétezer dallamát őrzi. A madarak különleges gégefője lehetővé teszi, hogy másodpercenként 300 különböző hangot énekeljenek egymás után. Hihetetlen teljesítmény! Sőt vannak olyan énekesmadarak is, amelyek 400 hang/mp sebességgel énekelnek. Nem csoda, ha az ember sokszor azt hiszi, hogy csak cserregő-csattogó csetepaté folyik a feje fölött az énekesmadarak között, holott a legszebb dallamívek gyöngyöznek a levegőben.

Időszeletelő fülek

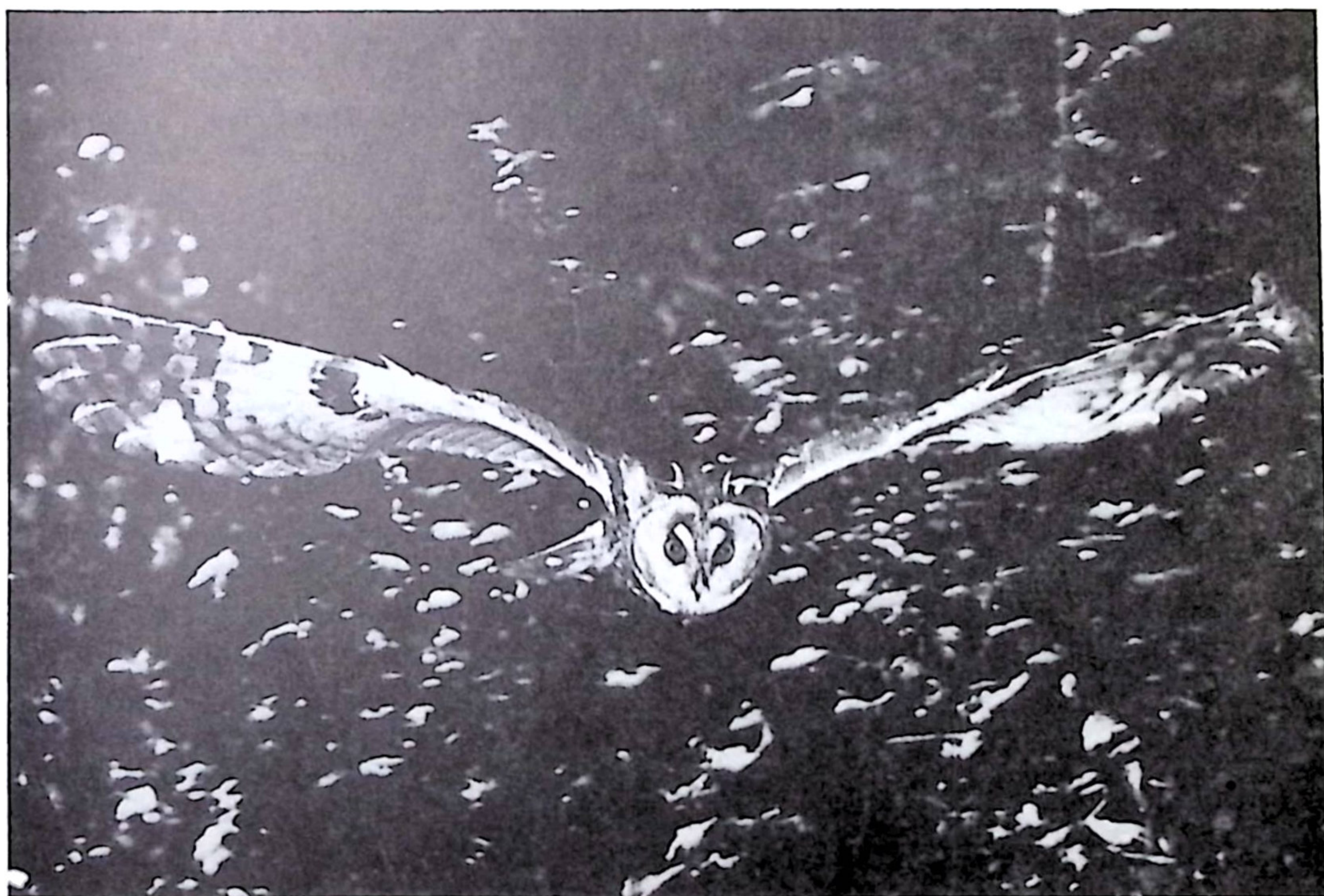
A madarak közül a bagolynak van a legérzékenyebb füle. Ez számára létkérdés, hiszen hallása alapján vadászik. Még koromsötétben is meghallja a neszező egér hangját, s olyan pontosan „rástartol", hogy amikor R. S. Payne amerikai kutató laboratóriumában a lecsapás pillanatában felgyújtották a lámpákat, már a karmai között volt az áldozat. Pedig legalább 7 méter távolságból kellett „bemérnie" a sötétben lopakodó egeret. Érdekes, hogy a bagoly nem akkor hagyta el őrhelyét, amikor a mocorgást hallotta. Ekkor még tájékozódott. Csak akkor lendült támadásba, amikor hirtelen csend lett.

Fülének szerkezete sokban eltér a madarak hallószervének felépítésétől. Az itt található mechanikai trükkök sora mind azt szolgálja, hogy a leggyengébb zörejeket, zajokat is meghallja. A madarak külső füle például csak egy apró süllyeszték a koponyán. Nyoma sincs fülkagylónak, ezért nehéz megállapítani, hol a madarak füle. A fülesbagoly viszont már messziről felismerhető furcsa tollas fülkagylóiról. A dobhártyája előtti üreget két részre osztja egy bőrredő. Az egyik csatorna csak vakjárat, a másik viszont a dobhártyához vezet. A bőrredő mozgatásával a bagoly valószínűleg pontosabban tudja fülébe terelni a hangokat, így több rezgési energiát gyűjthet össze a hangforrásból. Dobhártyája is meglepően nagy. Ez a nagyobb felületű hártya érzékenyebben fogja fel a hangrezgéseket, mert kisebb hangerő készteti ugyanakkora kitérésre, mint amekkorára más madarak dobhártyája domborodik.

Középfülében a dobhártyát és a belsőfül ovális ablakát egyetlen hosszú csont, a kolumella köti össze. A madarak középfülében ez a csont pontosan a dobhártya közepéhez támaszkodik. A bagolyéban kissé távolabb van a vége a középponttól. Bár így kisebb kitérésekkel mozog a kolumella, ha rezgés éri a dobhártyát, de nagyobb erővel „kopogtatja meg" a belső fül ablakát. Ez azért szolgálja a nagyobb érzékenységet, mert a belső fülben mozgó folyadék is nagyobb nyomáshullámokat kap. Az emberi fülben a három hallócsontocska közvetítésével a hanghullámok nyomása 22-szeresre nő. Körülbelül ilyen arányban továbbítja a hangrezgéseket a házi veréb füle is. A hosszúfülű bagoly 40-szeres „áttétellel" rendelkezik! Nem véletlen tehát, hogy a bagoly elsősorban a „fülére támaszkodva" vadá-



Az érzékeny fül is elősegíti a bagoly éjszakai vadászatainak sikerét. A hanghullámok a fülre boruló bőrlebeny mellett (1) elhaladva, a fülnyíláson át (2) lépnek a külső fül csarnokába (3), és rezegtetik a szokatlanul nagy méretű dobhártyát (4). Hátulról a kolumella vékony csontja támaszkodik rá (5). Ez a pálca vezeti át a rezgéseket a belső fülbe



Nesztelenül suhan a bagoly a félhomályban. Százszor gyengébb hangokat is meghall, mint az ember, így könnyen betájolja az avarban neszező rágcsáló helyét. A legújabb vizsgálatok szerint parabola alakú fejtollazata a gyenge hanghullámok összegyűjtését segíti elő

szik. Noha szemét is használja a félhomályban, az áldozat helyét mindenképpen hallása alapján határozza meg. Amikor lesuhan a faágról, már pontosan tudja, hová kell repülnie. Repülés közben szürkületi látású szeme az útjában álló fák, bokrok elkerülésében nyújt számára segítséget.

A madarak hallásának alsó küszöbe általában 100–300 Hz körül mozog, de a felső határ sok esetben már az ultrahangok tartományában van. Ezeket a felső küszöbértékre vonatkozó méréseket Galton-síppal végezték, amely ultrahangok előállítására alkalmas. Masakazu Konishi japán kutató szerint azonban ezek a vizsgálati eredmények meglehetősen bizonytalanok. 1969-ben saját kísérletei alapján arra a következtetésre jutott, hogy a madarak nem hallanak magasabb hangokat, mint az ember. Szerinte a régebbi kutatók azért tételeztek fel számunkra hallhatatlan hangokat a madarak énekében, mert az emberi fül nem tud különbséget tenni az énekesmadarak egyes hangjai között. De ez nem a rendkívül magas rezgésszám miatt van, hanem azért, mert a madárénekben egymásra torlódnak a különböző hangok.

Ha egy madártrillában másodpercenként 30 különböző rezgésszámú hang gyöngyfüzére sorakozik, ezt az ember még hangonként hallja. De amikor a frekvenciaváltozás sebessége 100 hang/mp fölé emelkedik, csak berregést vagy zümmögést hallunk. A madarak „időszeletelő" hallása 50–100-szor jobb az emberénél. Valóban hangonként hallják, amit a társuk énekel! Ennek alapján az is érthetővé válik, hogyan tudják egymást „személy szerint" megkülönböztetni. Énekükben annyi változatot valósíthatnak meg a hangok magasságának és erősségének gyors változtatásával, hogy ez a szám vetekszik a lottó ötös kihúzásának variációs lehetőségeivel. Minden madár így szinte saját „dallam-névjegyét" küldheti szét a levegőben, s a nőstény egyenként ismeri fel minden udvarlóját a távoli trubadúrdal alapján.

Az emlősállatok közül a kutyák fülének érzékenysége messze felülmúlja az emberét. Négyszer távolabbról érzékelik ugyanazt a gyenge neszt, amit éppen csak meghall az ember. Philadelphiai kutatók azt is kimutatták, hogy a kutyák belsőfülének csigajárata csak akkor kezd rezegni, ha ugatás hangjai érik. Ilyenkor sajátos rezgésminta alakul ki a belső folyadékban, és az érzősejteken keresztül azután megfelelő villamos jelek futnak a kutya agyvelejének hallómezejébe. Ezzel arra a meglepő felfedezésre jutottak, hogy a kutya belső-füle csak társainak ugatását érzékeli. De hogyan hallja meg az emberi hangokat, és hogy tesz különbséget az ismerős szavak között? Ezt még ma sem sikerült pontosan tisztázniuk.

A macskák füle legalább olyan érzékeny, mint a kutyáké. Már 14 méterről meghallják a surranó egér neszét. Érthető, hogy a hangtani mérések szerint nem a 2734 Hz-es hangra a legérzékenyebbek (mint az ember), hanem a zongora legnagyobb rezgésszámánál csaknem két oktávval magasabb hangokra figyelnek fel először. Ennek kitűnő hasznát veszik egerészéskor, minthogy a gyenge zajokban a magas hangok vannak többségben.

Általában a hírközlés szempontjából az állatok hangadó és hangfelvevő szerkezetei azonos rezgési tartományokra hangoltan működnek, érzékenységük pedig megfelel az életkörülmények megkövetelte pontosságnak. De vannak még homályos területek. Nem tudjuk, hogy egyes rovarok, így például a szemölcsvesztő szöcskék miért érzékelik a 90 000 Hz-es ultrahangokat is. Osztrák oceano-

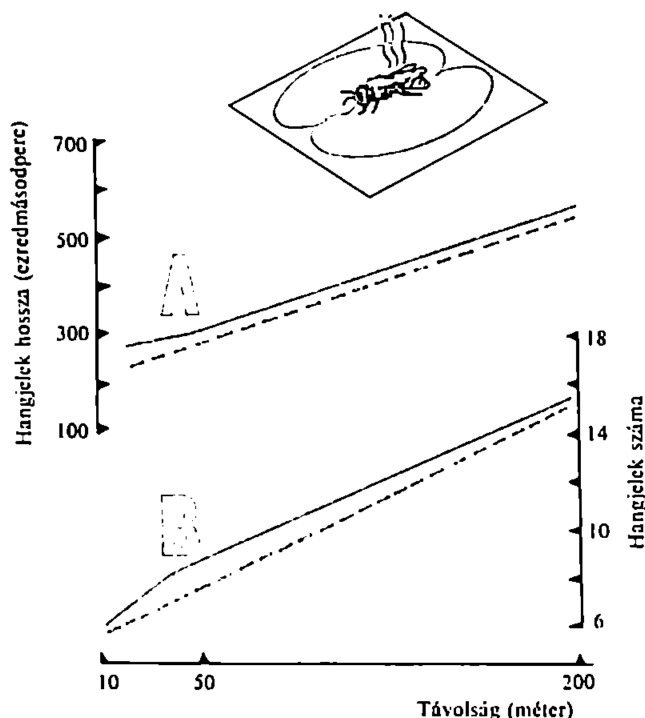
lógusok szerint a halak különleges érzékszerve, az oldalvonal is felveszi az ultrahangtartományból érkező rezgéseket. Az egerek a legérzékenyebb ultrahangmikrofonokat is megszégyenítve, kb. 100 000 Hz-es vészkiáltásokkal figyelmeztetik egymást, ha macska közeledik. Hogy ennél magasabb hangokat meghallanak-e, ezt még ma sem vizsgálták meg alaposabban a kutatók. A mérések szerint a kutyák 38 000 Hz-ig érzékenyek a hangrezgésekre. Ezért taníthatók meg a rendőrkutyák arra, hogy egy Galton-síp hallhatatlan hívójelére jöjjenek. Ugyanígy a majmok hallásának tartománya is belenyúlik az ultrahangsávba. Amerikai kutatók makákó majmokon végzett vizsgálatai során bebizonyosodott, hogy a kísérleti állatok 45 000 Hz-es hangokat is meghallanak. Valószínű, hogy az ultrahangok tartományában végzett hallásmérések a jövőben még sok meglepetéssel szolgálnak a biofizikusoknak.

Az ember „közbeszól"

Ki nem álmodozott már gyermekkorában arról, milyen jó lenne megérteni az állatok beszédét? A biofizikusok álmodozás helyett tudományos vizsgálatokkal igyekeznek valamiféle szótárt összeállítani az állatok hangjeleiből, de meg kell vallani, hogy a titokzatos hangok megfejtésében ők sem jutottak sokkal előbbre, mint a hajdani természetbúvárok. Persze nem is várhatunk sokat ettől a beszédtől. Az állatok valószínűleg sok mindent ki tudnak fejezni hangjeleikkel, de közléseik csak a jelenre vonatkoznak. Nincs fogalmuk múltról, jövőről, nem ismerik az emberi beszédnek azt a második jelzőrendszerét, amelynek segítségével az elvont fogalmak is megidézik a valóságot, így tehát gondolatokat sohasem cserélhetnek egymással. Hangjel-rendszerük sohasem beszéd, hanem csak hírközlés.

Ebbe persze több minden beletartozik. Kluyver holland természetkutató például a madárnyelvet tanulmányozva elragadtatottan jegyezte fel: „Négy évig követtem nyomon magnetofonnal egy előzőleg meggyűrűzött ökörszemet. Ligetről ligetre, bokorról bokorra követtem. S most már tudom, hogy miről beszélt. Az éhes gyermek rémületéről, a pajkos kamasz csavargásairól, a gilisztavadászat első izgalmáról, első fészkének építéséről, találkozásáról szívének választottjával... Valóságos hangos regény..."

A legtöbb kutató nem ennyire romantikusan fogalmazza meg az állatok hangjainak információtartalmát. Rezgésszámok és hangerősségek, időtartamok és szünetek alapján próbálnak törvényszerűségeket, azonos közléseket felfedezni a hangokban. A méhek híres „táncbeszédéről" például kiderült, hogy a felderítő nemcsak mozdulataival közli az élelemforrás távolságát, hanem hangokkal is. Dr. H. Esch, a Notre-Dame Egyetem kutatója részletes vizsgálatokkal bizonyította, hogy a sikeres felderítésről hazaérkezők különféle hangimpulzusokat bocsátanak ki. A mérések szerint a csóvatáncban, amikor a leírt 8-as középső szárán halad a hírközlő méh, kb. 200–250 Hz-es hangot hallat szárnyainak rezegtetésével. A hangképzés időtartama pontos összefüggésben van a lelőhely távolságával. Ha a nyíló virágokkal borított rét például 200 méterre van a kaptártól, a hangjelzés 0,5 mp-ig tart. Ha a lelőhely 1,2 km-re található, az impulzusok időtartama 2 mp. Dr. Esch ezt azzal is igazolta, hogy a trópusi Melipona-méhek egyik fajának jelzéseit magnetofonra vette, amint a dolgozó a sikeres gyűjtőútról visszatérve, hangjelekkel adta tudtára társainak a lelőhely távolságát.



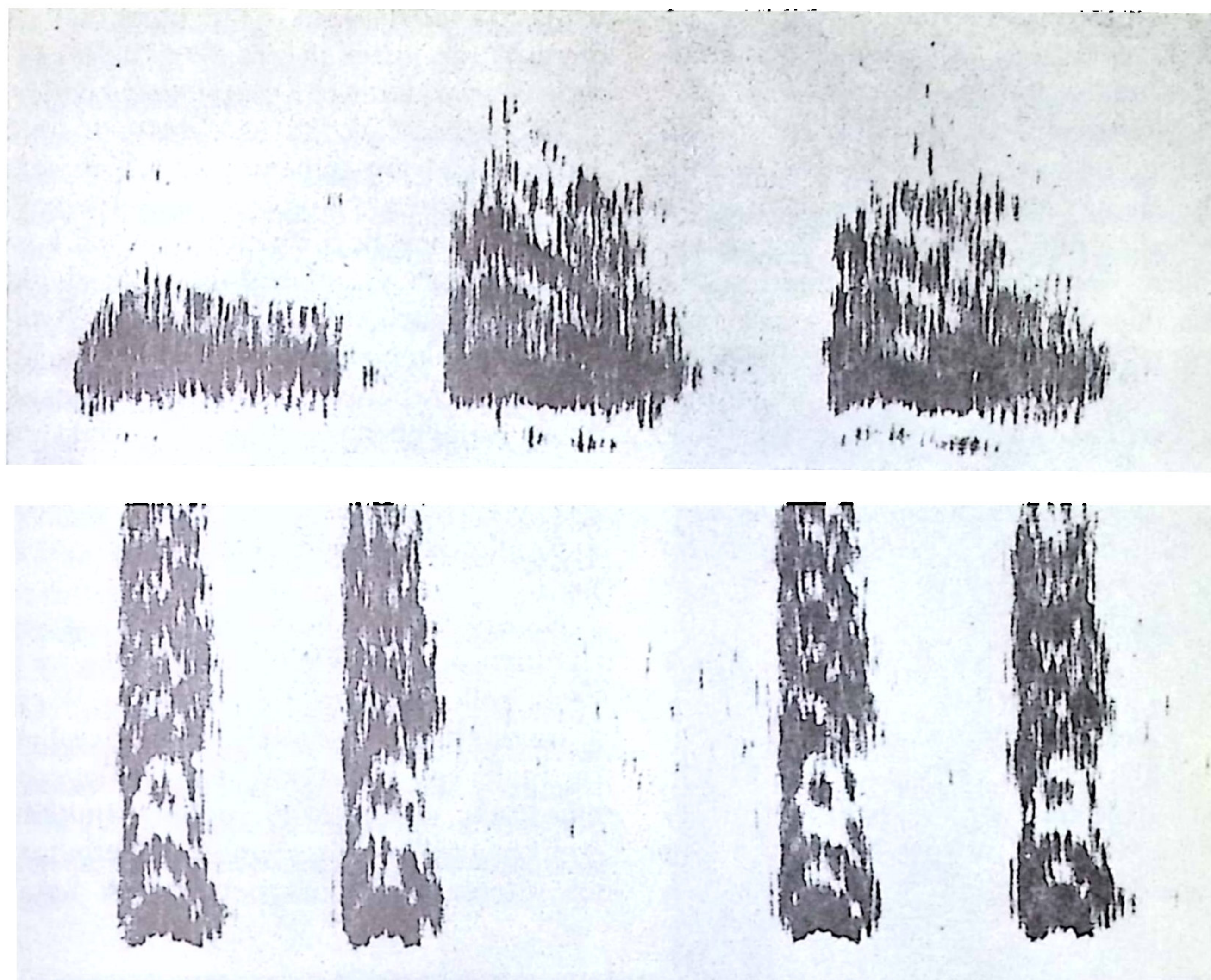
A sötét kaptárban vagy félhomályos időben a hangjelzéseknek is nagy hasznát veszik a méhek. J. K. Jeszkov szovjet kutató mérései szerint a méhtáncnál a szárnyrezgések időtartama (A) és a hangjelek száma (B) arányos a jelzett távolsággal. A folyamatos kék vonal az „élelmiszerbeszerző" méhek, a szaggatott a „szállásmester" méhek jelzéseit mutatja

Később azután pusztán e hangjelek visszajátszásával sikerült elérnie, hogy a méhek ismét kiszálltak a kaptárból, és pontosan ugyanazt a virágcsoportot keresték fel, mint korábban. Ez a kísérlet arra is figyelmeztet, hogy nemcsak a távolságról, hanem az irányról is tájékoztatást kaptak a méhek a hangjelekből. Ennél többet egyelőre még nem tudnak jelenleg a kutatók erről a különös, zenélő mérőszalagról.

J. K. Jeszkov, a szovjet ribnojei méhészeti tudományos kutatóintézet munkatársa viszont a méhek rajzását tanulmányozva figyelt fel néhány érdekes hangra. Amikor kirepülés után a raj egyetlen óriási fürtben csüng valamelyik ágon az anyaméh körül, „élelmiszer-beszerző" és „szállásmester" méhek válnak ki a csoportból, hogy előkészítsék a méhcsalád új letelepedési helyét. Amikor visszatérnek kereső útjukról, valóságos párbeszéd alakul ki a raj és a felderítők között. Megfelelő erősségű, szünetekkel tarkított hangjelekkel 400–500 Hz-es frekvencián közli a szállásmester, hogy merre van az új lakóhely. Ha a többség elfogadja ezt az ajánlatot, akkor 200 és 400 Hz-es szárnyrezgéssel válaszol. Kis idő múltán, amikor elrepüléshez készülődik a raj, a zsibongásban 120–180 Hz-es hangrezgés válik uralkodóvá, így az óriás családnak mind a negyvenezer tagja értesül az indulásról. A jófülű méhész tehát előre megtudhatja, mikor készülődnek indulásra méhei, és még idejében leemelheti az egész fürtöt.

Az állatok hangjában sokféle érzés és jelzés rejtőzik. Ezek a hangok csalogatnak, fenyegetnek, félelmet és örömöt fejeznek ki. A békák brekegése, a madarak éneke egyaránt messze hangzóan hirdeti a saját otthon területének határait. Bizonyos hangok élettani folyamatokat is vezérelhetnek. Margaret Vimce kutatónő megfigyelte, hogy a fürjfészekben a tojások néhány nappal a fiókák kikelése előtt „ketyegni" kezdenek. Ez a hang a madarak lélegzésével függ össze, s a kutatónő szerint gyorsabb növekedésre serkenti a fejlődésben lemaradt fürjembriókat. Ezt az elképzelést kísérletileg is igazolta. Idősebb fürjtojásokat rakott fiatalabb embriók tojásai mellé. A tojások ketyegése megtette hatását. A fejlődésben „lemaradottak" egy nappal hamarabb keltek ki, mint ahogy várni lehetett a költési idő alapján.

Van egy régi vicc a macska elől menekülő egérről. A kis állat beszalad a lyukba, és remegve figyel kifelé. Egy idő múlva semmit sem hall. Egyszer csak kutyaugatás üti meg a fülét. „Remek – gondolja magában –, elmúlt a veszély!" – s azzal ki-



A zaj a hangok világában olyan, mint a fehér fény az optikában. Ahogyan különböző színek keverednek a fehér fényben, ugyanígy a zaj is azért nem dallamos, mert mindenféle hangrezgés kavarog benne. Ilyen a varjú károgása is! Ezek a hangképek függőleges irányban a növekvő rezgésszámokat, vízszintesen a múló időt jelzik. Az amerikai keleti varjú néhány perc alatt több százszor ismétli ezeket a gyülekezésre hívó jeleket (fent). A vészkiáltás magasabb rezgésszámú, és rövidebb hangjelekből áll (lent)

sétál a lyukból. A következő pillanatban éles karmok csapnak rá, a macska pedig, miután megette az egeret, elégedetten megszólal: „Hiába, jó, ha tud az ember egy idegen nyelvet.” Marikovszkij szovjet professzor a rovarhangokkal kapcsolatban hasonló, de fordított példát említ. A bundás zengőlégy úgy kerüli el a vadászó madarakat, hogy a földidongó hangját utánozza. Repülés közben pontosan ugyanolyan rezgésszámmal mozgatja szárnyait, így a madarak a dongó szúrásától félve békén hagyják a vészjósló berregéssel közeledő legyet. Ez legalább olyan jó csel, mintha az egér megtanulna ugatni...

Annyit ma már az ember is megért az állatok beszédéből, hogy időnként közbe tud szólni. Főként akkor, ha halakat kell hálóba csalogatni, vagy kártevő állatokat kell elriasztani. A Miami Egyetem tengerbiológiai intézetének kutatói pél-

dául sikeresen tévesztettek meg néhány jellegzetes tengeri halat, amelyek a halászat szempontjából igen fontosak. Víz alatti hangszóróval egy oktáv terjedelmű zajt sugároztak 25 és 50 Hz között. A hullámsáv alsó és felső széle között 24 dB hangerőkülönbség volt. Percenként néhány impulzustól másodpercenként több impulzusig váltakoztatva a jeleket, a hangszóró lényegében ugyanolyan hangokat szórt szét a vízben, mintha mélytengeri ragadozó halak lakmároznának. Ezek a hangok csalogatják a „terített asztalhoz" a hívatlan vendégeket, a kisebb halakat is. Valószínűleg nagy meglepetés lehetett a halak körében, amikor az ismerős csalogató hangok nyomán finom falatok helyett csak egy hálót fedeztek fel, de azt is már későn.

Francia kutatók a sáskahangok elemzéséből jutottak hasznos adatokhoz. Sokáig kísérleteztek, amíg kiderült, hogy a félelmetes kártevők nem a fokozatosan erősödő vagy halkuló, hanem a hirtelen félbeszakadó hangokra figyelnek fel. A kutatók úgy jöttek rá erre, hogy mikor véletlenül elszakadt egy magnetofonszalag, a kísérleti sáskáknak lejátszott erősödő hang is hirtelen félbemaradt. A vizsgálatokból kitűnt, hogy a „derékszögű" hangok, amelyek hirtelen élességgel kezdődnek, vagy váratlanul megszakadnak, kitűnő hívójelként használhatók. Amikor kísérletképpen ilyen „műsort" sugároztak a szabadban, a nőstény sáskák óriási tömegben gyűltek a hangszóró köré. Nem lehetetlen, hogy a sáskairtás legegyszerűbb módját sikerül kidolgozni az állatok beszédének megfejtése nyomán.

Ha egy elfogott holló rémülten verdes, rikoltozása a legfélelmetesebb vészjel a többi holló számára. Francia kutatók ezt a vészkiáltást rögzítették magnószalagra, majd egy hollókkal lepett tölgyesbe hajtottak hangszórós gépkocsijukkal. Amikor az éj leszállt, s a madarak elpihentek, megszólalt a magnetofon. A hatás



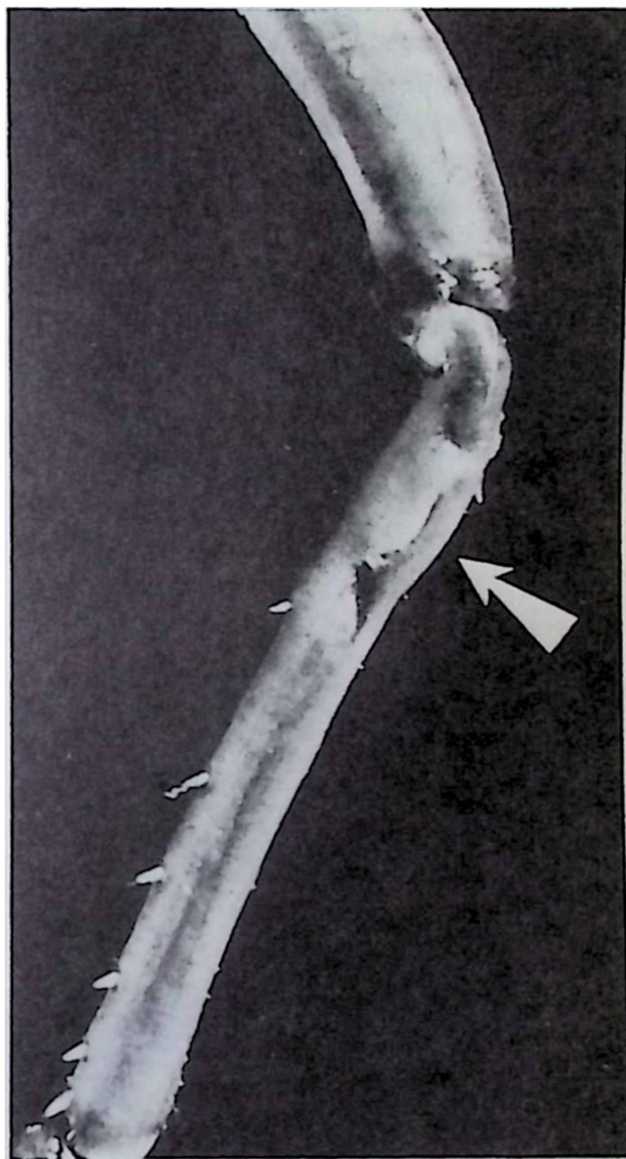
Varjúkárogással riaszthatók el a lábatlankodó galambok a leghatásosabban. A Kawasaki japán acélgyár ajánlotta fel ügyfeleinek ingyen ezeket a hanglemezeket, amelyekre varjúhangokat vettek fel. Az egyik központi raktárból állítólag ezzel a módszerrel zavartak el száz befészkelt galambot

leírhatatlan volt! A hollók ezrei dühös károgással menekültek, s az ellenőrző vizsgálatok szerint a következő télig vissza se tértek erre a helyre. Angol kutatók ugyanezt próbálták ki egy seregély vészkiáltásával. A felriasztott madarak egynapi kóválygás után még visszatértek éjjeli szálláshelyükre. De amikor a második éjszakájukat is megzavarta a vészkiáltás, a következő éjjel az ellenőrző radarberendezés képernyője már azt mutatta, hogy a seregélyek nagy része új szálláshely keresésére indult. Ezek a kísérletek a mind gyakoribb repülőgép-katasztrófák megelőzését is szolgálják, minthogy a madarak ellepik a repülőtereket, és a levegőben egyre több balesetet okoznak. Hasonló kísérletek folynak hazánkban. Dr. Szőke Péter madárhangkutató és kollégái a szajkók „halálfélelmének" kiáltását sugározzák magnetofonról. A szajkók ezeknek a hangoknak a hallatára lélekszakadva menekülnek.

Honnan jön a hang?

Németországban és Franciaországban már az első világháborúban titkos kísérletek folytak olyan forgatható tölcséres fülelőkészülékekkel, amelyekkel meghatározható a közeledő repülőgépek iránya. Noha az ember még csak az első szárnypróbálgatásoknál tartott, a motoros gépmadarak máris félelmetes fegyverré váltak: a harci pilóták a fülkébe rakott bombaszállítmányt egyenként dobták ki a gépből. Így az elhárítókészülékek tervezése is megkezdődött. A forgatható tölcsért a denevérfül mintájára szerkesztették. Tengelye akkor mutatott pontosan a láthatatlan repülőgép irányába, amikor a készülékben a legerősebb zaj hallatszott, mert a tölcsér ilyenkor nyalábolta össze a legnagyobb területről a repülőgép szétszóródó hangjait.

A rovarok évmilliók óta sikerrel használják ezt a találmányt. Lábukba süllyesztett fülük a mérések szerint irányérzékeny: akkor jelzi a legerősebb hangot, ha tengelye éppen a hangforrás irányába

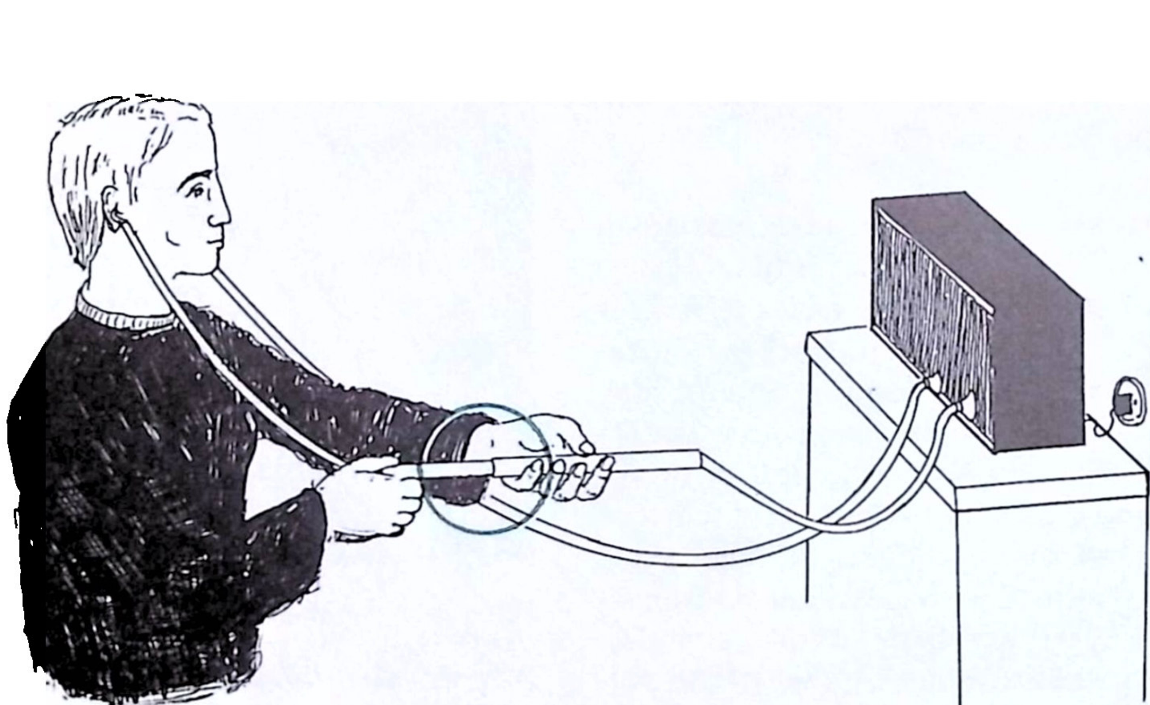


Fél lábbal is megállapíthatja a szöcske a hangforrás irányát. Lábszárán két párhuzamos hasítékon át (közülük csak az egyik látszik) jutnak a hangok a hallószervébe. Minél jobban elfordul a lába a hangforrástól, annál halkabb hangot hall. Ennek segítségével hasonlóan tájékozódhat, mint az ember fél füllel. Minthogy két első lábának hallószervét egyszerre használja, így már a hangforrás térbeli helyzetét is pontosan bemérheti

mutat. A nőstény rovarok már 10 méterről lelkesen indulnak a ciripelő hím felé, és csaknem egyenes úton haladnak a találkozásig. H. Autrum német kutató 1955-ben egy zöld lombszöcskét fektetett egy körbeforgatható korongra, s a különböző szögekből sugárzott hangjelek segítségével állapította meg a szöcske hallószervének irányérzékenységét. Hasonló kísérleteket végzett Pumphrey angol kutató is, amikor egy sáska hallószervének jól körülhatárolható érzékenységi sugártölcsérét határozta meg.

A tölcséres fülkagyló a magasabb fejlettségű állatokon szintén ezt az irányérzékenységet szolgálja. A denevérek füle csaknem körbeforgatható, és ha a patkósorrú denevér egyik fülét betömik, akkor sem veszti el tájékozódóképességét. A madaraknak nincs fülkagylójuk, akadályozná őket a repülésben. A legtöbb madár fülén kis bőrredő található, amely tollakkal borítva szintén az iránymeghatározást segíti elő. De mindehhez egy fül is elegendő volna. Vajon miért van mégis két füle az állatoknak?

Mindenki ismeri azt a kétágú gumicsövet, amely ott lóg a legtöbb vizsgáló orvos nyakában, és a mellkas hangjainak felderítésére szolgál. Ez a sztetoszkóp jól használható egy meglepő kísérlethez. Ha a gumicső mindkét végére egy-egy mozgatható csődarabot húzunk, majd „tapintó" végét egy kartondobozhoz szorítjuk, amely mögött hangszóró helyezkedik el, a sztetoszkóp különös illúziót kelt. Amikor monoton hangon zümmögni kezd a hangszóró, hunyjuk le szemünket, és csak a sztetoszkópban hallgatható hangra figyeljünk. Ha valamelyik csődarabot kissé kihúzzuk, egyszer csak „vándorolni" kezd a hang. Ha például a bal oldali



Ha a hangszóró zümmögését egy sztetoszkóp két gumicsöve közvetíti fülünkhöz, lehunyt szemmel előidézhetjük a hangforrás mozgását. Minél inkább széthúzzuk például a jobb oldali cső toldalékát, annál nagyobb késéssel ér jobb fülünkbe a hang. Úgy érezzük, mintha a hangszóró balra vándorolna a szobában

csövet hosszabbítjuk fokozatosan, úgy tűnik, mintha a képzeletbeli hangforrás jobbra haladna.

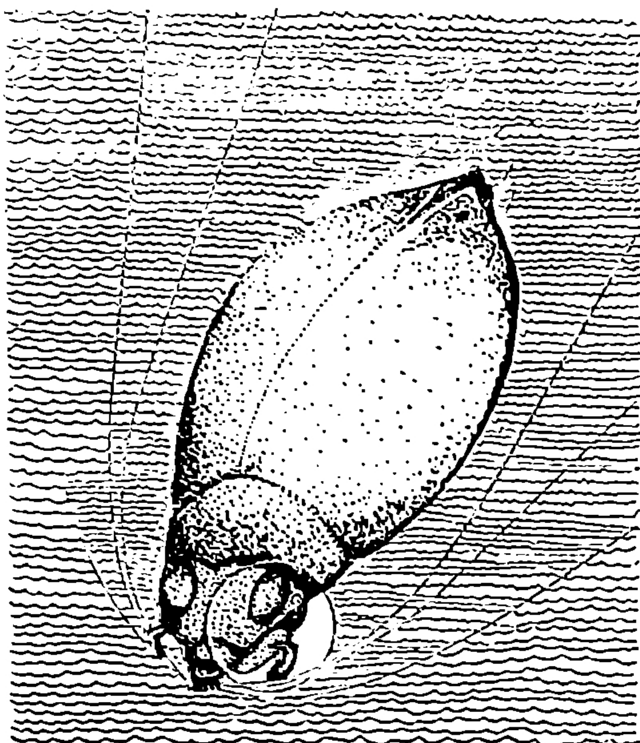
Mi a magyarázata ennek a különös jelenségnek? Ilyenkor a bal oldali csőben hosszabb utat tesz meg a hang, így később ér bal fülünkhöz. Ezt a késést úgy érzékeljük, hogy tőlünk jobbra állónak képzeljük a hangforrást. Mindez tapasztalatainkból következik. Ha jobbról kiált felénk valaki, később jut el a hang a bal fülünkhöz, mint a jobbhoz. Agyunk ezt az időkülönbséget kielemzi, és meghatározza a hangforrás irányát. A legkisebb időkülönbség, amelyet még érzékelni tudunk, 0,0001 másodperc. De a késve érkező hang gyengébben is ér fülünkhöz, mert „meg kell kerülnie" fejünket. Ez az árnyékolási jelenség, ami szintén hasznos információt szolgáltat agyunknak. A legújabb vizsgálatok szerint az 1400 Hz-nél kisebb rezgésszámú hangok irányát időkülönbségük, az ennél nagyobb rezgésszámúakét pedig hangerőkülönbségük alapján határozza meg agyunk. Lényegében hasonló elven működnek az alacsonyabb fejlettségű állatok hallóberendezései is. A zöld lombszöcske például külön-külön érzékeli két timpanális szervével a hangokat, majd dúcidegrendszerében a kétféle jelből együttesen alakul ki az irányérzet. A rovarok két füle közötti távolság nem nagyobb 1 cm-nél. Nagyobb távolsággal pontosabb iránymeghatározásra nyílik lehetőség. Egyedül a halak vannak nehéz helyzetben. Úszóhólyagjuk révén gyakorlatilag csak egy fülük van. Harris és Van Bergerijk véleménye szerint azonban mégis tudnak tájékozódni. Oldalvonaluk ugyanis a víz nyomáskülönbségeit érzékeli, így nagyjából meghatározhatják a hangforrás irányát.

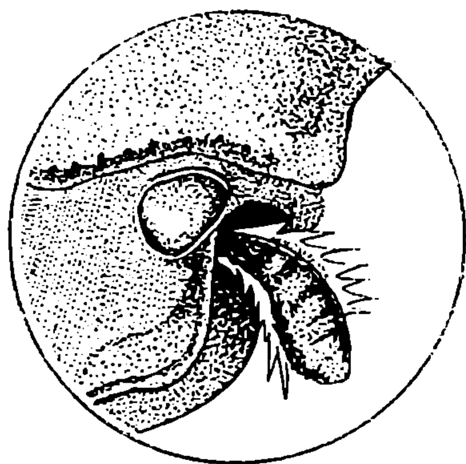
Az éjjel vadászó állatok közül a bagolynak van legnagyobb szüksége a pontos tájékozódásra, hiszen a surranó egér halk neszéből kell megállapítania, hol lapult le az állat a sötétben. Irány- és távolságérzékelése valóban kitűnő: 5 méter távolról legfeljebb 8,7 cm-t téved, ha lecsap a sötétben. Egyes kutatók szerint ezt a nagy pontosságot aszimmetrikus fülének köszönheti. Két füle ugyanis nem esik vízszintesen egy vonalba, mint a többi állaté. Egyik füle kissé feljebb van. Az ember zavarba jön, ha pontosan az orra előtt, a két fülétől egyenlő távolságból érkezik a hang. Képtelen megmondani, hogy ebben a függőleges síkban fentről vagy lentről jön-e a hang. Ha fel-le mozgatnak egy hangszórót ebben a síkban, az ember nem érzékeli elmozdulását. Nem így a bagoly! Ferdén elhelyezkedő két fülében még ilyenkor is időkülönbség jelentkezik, tehát pontosan meghatározza az irányt.

Puhatolódzás a térben

Ha új akváriumba helyezik a tengeri csikóhalat, olyan hangosan kezd kattogni, hogy még a szoba távoli sarkába is elhallatszik. A kutatók szerint visszaverődő hangjaival tapogatja le ilyenkor környezetét, s csak akkor csitul el, amikor már megismerte új otthonának kiterjedését és felszíni alakzatait. Íme, a visszhangos távolságmérés találmánya, amelyet az állatvilág számos tagja alkalmaz. A találmány alapötlete egyszerű: minél később érnek vissza a kibocsátott hangok, annál messzebb van az akadály, amely útjukban állt. Feltehető, hogy a sekély part menti vizekben tanyázó halak dobolása és úszóhólyagjuk rezegtetése hasonló „bemérésre" is szolgál.

A víz felszínén élő, vízbe hullott rovarokra vadászó keringőbogarak megdöbbentő finomsággal alkalmazzák ennek a

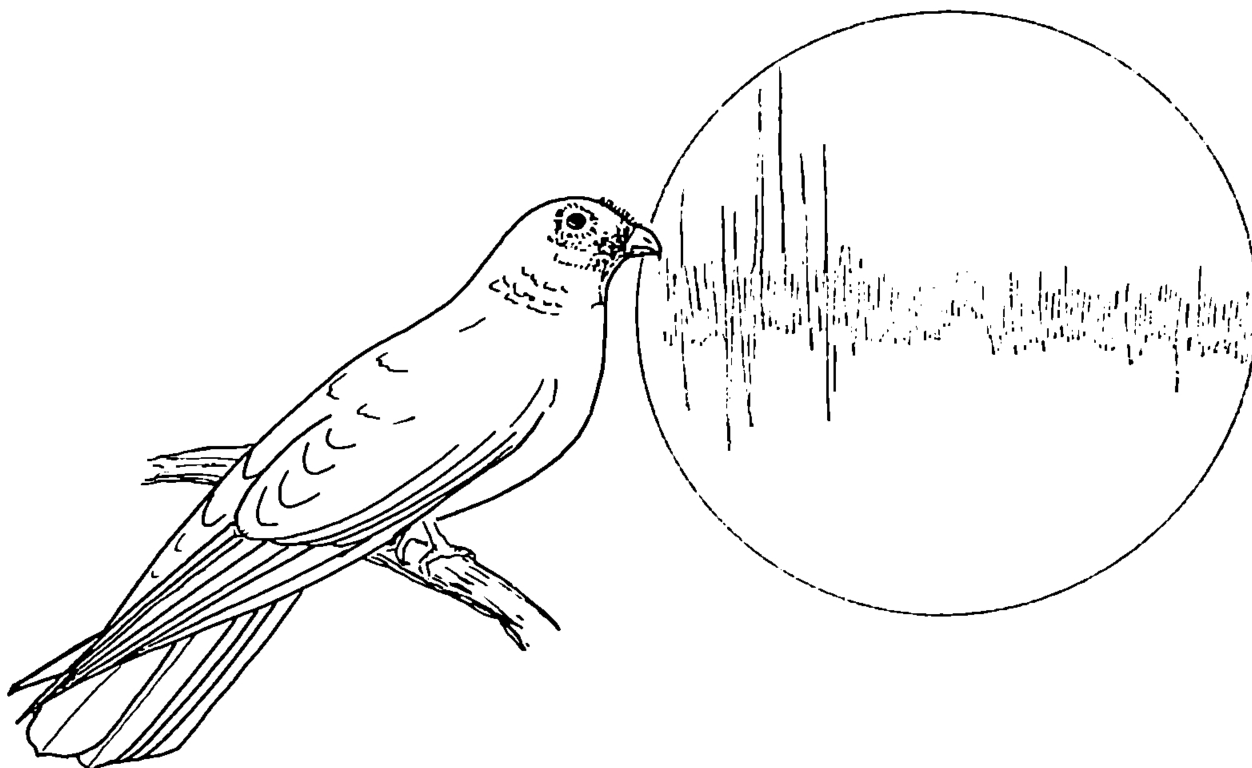




A keringőbogár csápján hallatlanul érzékeny tapintószőrök helyezkednek el (lásd a részletrajzot). Még a lemezjátszó tűjének kitéréseinél apróbb rezgéseket is felfogják a vízfelszínen. Így a bogár könnyen megtalálja a vízre hullott falatokat

felderítési módszernek a legegyszerűbb változatát. A vízen visszaverődő hullámok alapján tájékozódnak. Friedrich Egger német biológus vizsgálatai szerint a bogár csápjának második ízén különlegesen finom szőrök érzékelik a vízfelszín legapróbb változásait. Ha levágják ezeket, a keringőbogár szinte vakon bolyong a vízhullámokon. Ezek a szőrök annyira érzékenyek, hogy a vízfelszín 0,000 000 004 cm-es elmozdulását is azonnal jelzik. Ennél már a vízmolekulák véletlenszerű mozgása is nagyobb! Csakhogy a rovar azt érzékeli, amikor egy vízhullám hatására egyszerre mozdul el az egész vízfelszín. Minthogy páros szervről van szó, a keringőbogár a kétoldalt érzett nyomáskülönbséget is számításba veszi, és ennek alapján tájolja be a felszínen úszó zsákmányt vagy a vízből kiálló akadályokat.

A visszhangos távolságmérést a madarak is ismerik. A Ceylon szigetén is élő szalangána, ha a fészkét rejtő sötét sziklaüreg felé repül, a zongora legmagasabb hangjainak megfelelő „kattanásokkal" tájékozódik. A venezuelai guacharo-madarakra több mint másfél évszázaddal ezelőtt Alexander von Humboldt, a híres természettudós figyelt fel először. Ezek a különös zsírfecskék Caripe város közelében egy óriási barlangban élnek. Humboldtnak feltűnt, hogy kiáltásaik milyen félelmetesen verődnek vissza a sötét barlang falairól. Ez a leírás viszont Donald R. Griffin amerikai kutatónak tűnt fel, aki már hosszabb ideje tanulmányozta a denevérek tájékozódási módszerét. 1953-ban expedíciót szervezett a barlanghoz, és még ugyanott találta a madarakat, mint annak idején Humboldt. Csakhogy ő már ultrahangos mikrofonokkal és rezgéselemző elektronikus berendezésekkel felszerelve érkezett. A vizsgálatokból kitűnt, hogy a guacharók a zongora legmagasabb *a* hangjánál egy oktávval magasabb, kb. 7000 Hz-es hangokat bocsátanak ki. A barlang mélyén olyan sötétség uralkodik, hogy a madarak valóban csak a visszaverődő hangok alapján tájékozódhatnak. Amikor a kutatók betömték az egyik madár fülét, a szabadon enge-



Amelyik állat hangokat ad ki, az tájékozódni is képes a visszhangok alapján. A sötét barlangokban élő venezuelai zsírfecske vagy szuszók (guacharo) madarak különösen jól használják ezt a tájékozódási módszert. Repülés közben „kattanások" sorozatát hallatják, és a visszaérkező hangok segítségével kerülik el a sötétben az akadályokat

dett állat elvesztette tájékozódóképességét. Repülése bizonytalanná vált, időnként a sziklafalnak ütközött. Ha a guacharók este kirepülnek a barlangból, a szabadban már nem használják ezeket a kiáltásokat.

Vannak a levegő és a víz birodalmában olyan állatok is, amelyek továbbfejlesztették a lokátoros távmérést. Ezek az állatok emlősök, jóllehet a denevérek a madarak világában, a delfinek pedig a halak közt élnek. De talán ez magyarázza, hogy az emlősök fejlett idegrendszerével rendelkezve olyan finom műszerre tettek szert, amelyet még a XX. század mérnökei is kíváncsian tanulmányoznak.



A sötétség titokzatos lovagjai, a suhanó denevérek fantasztikus találmánnyal rendelkeznek. Ultrahangos lokátorukkal ugyanolyan jól tájékozódnak éjjel, mint más állatok nappal. Az emberek sokáig azt hitték, hogy némán repülnek, pedig hallhatatlan kiáltásaik hangfüzéreiben szinte szimfóniák zengenek

NÉMA SZIMFÓNIA

A nagy laboratóriumban teljes csend és sötétség honolt. Mintha kihalt volna az élet. De az egyik sarokban nagy érzékenységű ultrahangmikrofon és elektronikus erősítőberendezés működött, a levegőben pedig egy szabadon eresztett denevér vadászott szorgalmasan a sötétben kószáló szúnyogokra. Donald R. Griffin, aki a szokatlan kísérletet előkészítette, fülére helyezte a fejhallgatót. És nem akart hinni a fülének!

Először egy induló csónakmotor lassú pöfögését hallotta, majd egy idő után felgyorsultak a jelek, és egy motorkerékpár berregett a fülébe. Azután egyre erősödtek a hangok, egy nyikorgó ajtó csapódott, végül beállt a csend.

A denevér elkapott egy szúnyogot! A hangok kétségtelenül a „bőregér" ultrahangos jelei voltak, csakhogy ezeket az elektronikus berendezés hallható hangokká alakította. A denevér először csak felderítő sugarakat bocsátott ki, majd a zsákmány felfedezése után egyre rövidebb időközökben küldte ultrahangos jeleit, végül villámgyorsan a szúnyog közelébe ért és bekapta.

Az amerikai kutató ezzel az első kísérlettel 1938-ban véglegesen választ kapott arra a kérdésre, hogyan látnak a denevérek a sötétben. A régi sejtés igazolódott. Nem a fény, hanem az emberi fül számára hallhatatlan hangok alapján tájékozódnak. Másodpercenként 20 000-nél többször rezegtetik meg a levegőt, s ennek az ultrahangsugárnak a visszaverődéséből állapítják meg, milyen akadályokat kell elkerülniük repülés közben, sőt mindennapi élelmüket, az apró repkedő rovarokat is ilyen módon fedezik fel.

Különös lokátorukat évmilliók óta használják, méghozzá számtalan változatban, ahogyan a létfenntartásért folyó küzdelemben különféle fajaik a legelőnyösebben tudtak alkalmazkodni a környezet teremtette életfeltételekhez. Az ember számára azonban ez a tökéletes eleven találmány csak ebben a században vált ismertté, amikor az ultrahangmikrofonok lehetővé tették a denevérek éjszakai viselkedésének behatóbb megismerését. Korábban inkább csak a babonák világához tartozott a nesztelenül suhanó „bőregér", és az omladozó kastélyok nélkülözhetetlen kelléke volt a romantikus regényekben.

Pedig a denevérek rendje már biológiai szempontból is figyelmet érdemel. Vannak köztük olyan parányok, amelyekről Eisentraut német biológus meglepve írta: „Kamerunban több példányt fogtam az Eptesicus tenuipinnis faj képviselőiből, miután kivilágított szobámba repültek. Amikor a lámpaernyő körül köröztek, első pillantásra rovaroknak véltem őket, olyan aprócskák voltak... Ez a faj olyan kicsi, hogy talán még egy gyűszűben is tanyát üthetne." Vannak viszont olyan denevérfajok is, amelyeknek kiterjesztett szárnyai elérik az 50 cm-t. S ami a legfurcsább: az állatvilág legmagasabb fejlettségű csoportjába, az emlősök közé tartoznak, tehát ugyanúgy elevenen szülik utódaikat, mint a négylábú állatok.

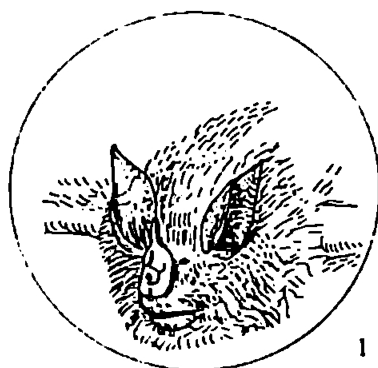
Érdekes, hogy a denevérek titokzatos röpködése csaknem két évszázaddal ezelőtt már felkeltette egy olasz természettudós érdeklődését. Lazzaro Spallanzaninak ütött szeget a fejébe először a kérdés, hogyan is tájékozódnak a denevérek a sötétben. Zsinórokra függesztett csengőket helyezett el egy szobában. Józan ésszel arra számított, hogy a denevérek éppúgy fognak botorkálni a levegőben, ahogyan egy ember is neki menne a csengőknek, mert fény hiányában nem tudja használni a szemét. De a várt zenebona elmaradt. A gyorsan cikázó denevérek játszi könnyedséggel kerülték ki a zsinórokat. Talán a sötétben is látnak? Megvakította a kísérleti denevéreket, de azok továbbra is magabiztosan röpködtek. Erre – kíváncsi kutatóhoz illően – betömte viasszal az állatok fülét, és várta, mi történik. A denevérek repülése bizonytalanná vált, és mindennek nekimentek. Spallanzani tehát megállapította, hogy a denevérek a fülükkel „látják", pontosabban: hallják környezetüket. De minthogy erre a furcsa feltevésre sehogyan sem sikerült elfogadható magyarázatot találni, ezért a természettudósok elvetették a füllel való tájékozódás lehetőségét, és még Cuvier, a XIX. század kiváló tudósa is inkább arra gyanakodott, hogy a denevérek rendkívül fejlett tapintóérzékkel rendelkeznek, s valószínűleg ez a titka biztos repülésüknek.

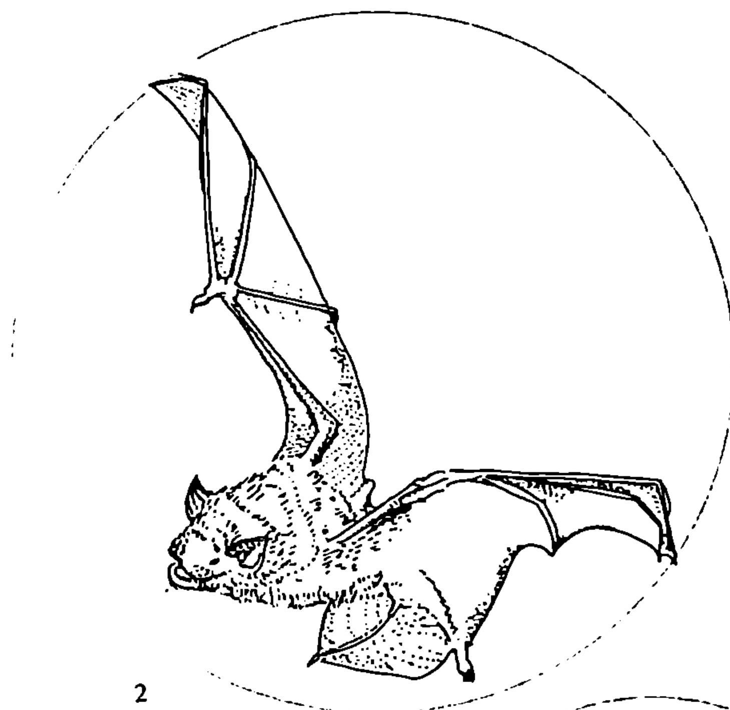
A titok azonban továbbra is titok maradt egészen addig, amíg D. R. Griffin amerikai kutató a magyar származású Galambos Róberttal együtt be nem bizonyította, hogy a denevérek emberi fül számára hallhatatlan hangokat bocsátanak ki. Ettől kezdve a kutatók egyre lendületesebben tárták fel a denevérek rejtélyét, s a kísérleti adatok még az ultrahangos lokátorok szerkesztésében tájékozott szakembereket is meglepték.

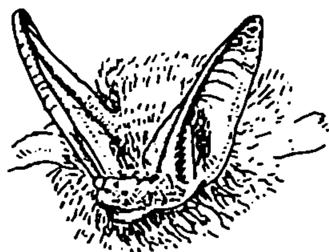
Megdermedt síkfutók

Alvin Novick, a denevérek lokátorának szorgalmas kutatója írja, hogy egyik kollégája Indiában töltötte gyermekkorát, s ő mesélte, hogy gyakran nem tudott elaludni, mert a hálószobája nyitott ablaka előtt hangos kiáltásokkal vadásztak a denevérek. Dajkája egyszerűen nem akarta elhinni, hogy emiatt nem tud aludni. Érthető, mert idősebb korban romlik az ember hallása, és a magas hangokat már nem hallja meg. A gyerek viszont még könnyen felismerte a 20 000 Hz-es hangokat is az emberi hallásküszöb felső határán. A kísérletek szerint egy jól szigetelt szobában a felnőttek is meghallhatják a denevér jellegzetes, halk „ketyegését", amint sorozatban küldi ultrahangos jeleit.

Néhány denevérfaj emberi füllel is hallható rezgéseket sugároz szét másodpercenként kb. 12 000 rezgéssel, de a legtöbb denevér 20 000 Hz fölött kelti vadászó és tájékozódó kiáltásait. A patkósorrú denevérek családja például a 60–120 000 másodpercenkénti rezgésszámú ultrahangok tartományából használ valamilyen meghatározott frekvenciát. Ha egy ilyen impulzust (rövid ideig tartó hangot) bocsát ki a denevér, ez számára körülbelül úgy hangzik, mintha valaki egyetlen hangot fütyülne kitartóan. De az impulzusok rövidsége meglepő. Általában 0,05–0,1 mp-ig tartanak, aszerint hogy milyen hosszúságú jelre van a denevérnek szüksége a felderítéshez. A „bőregerek" világában ezek már hosszú kiáltásoknak számítanak. (Ezzel ellentétben a tátottszájú denevérek impulzusai például 0,000 72–0,000 54 mp hosszúak.) Pedig emberi mértékkel mérve 0,05 mp is rövid idő! Ezalatt a százméteres síkfutók szinte „vonszolják" magukat, s csak kb. 50 cm-rel haladnak előre. (540 milliomodmásod-







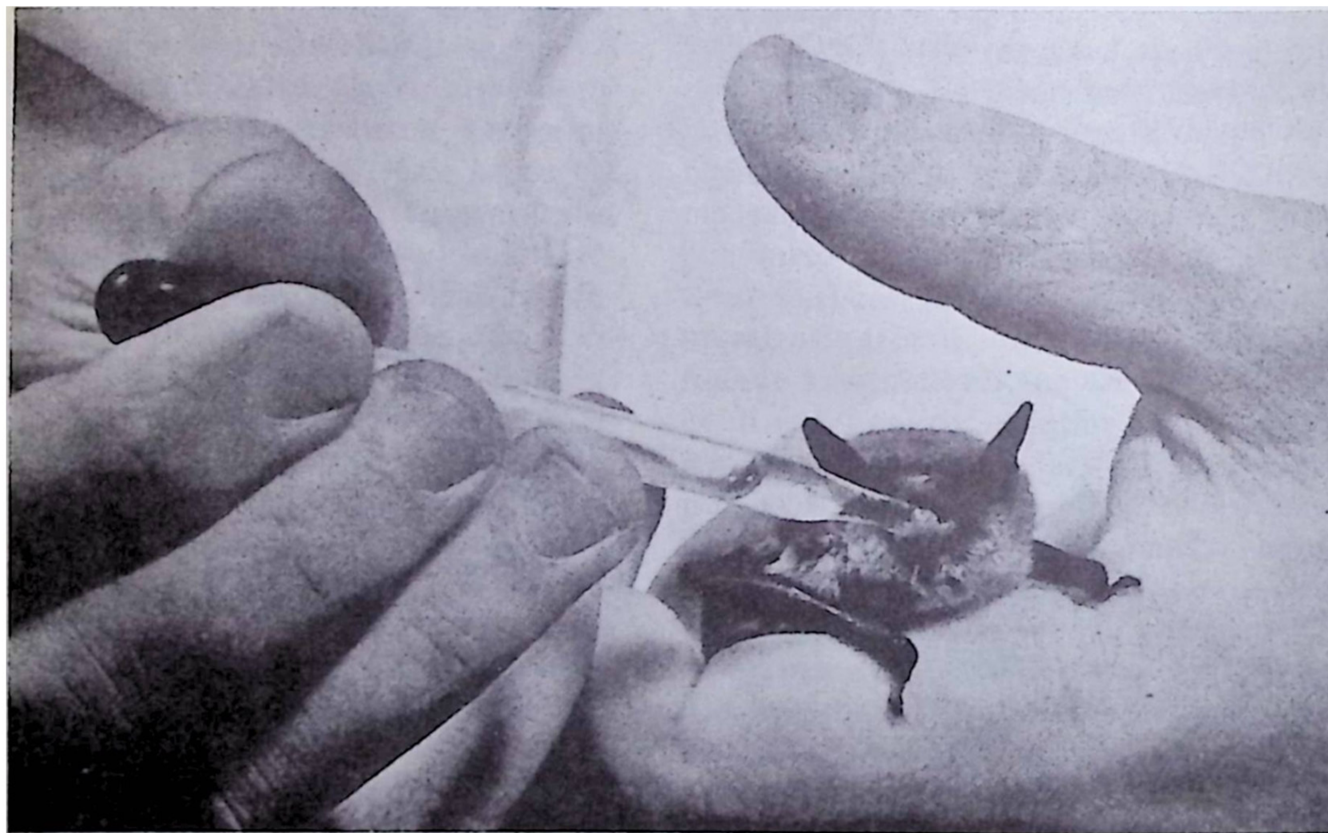


Bemutatkoznak a denevérek. Az ultrahanglokátor szempontjából két nagy családjukat tanulmányozták behatóan a kutatók. A patkósorrú denevérfélék családjának tagjai állandó rezgésszámú hangokat bocsátanak ki (CF-denevérek). Kiáltásaik hossza 0,05 mp-nél nagyobb. Orrukon át bocsátják ki a hangokat, patkós orruk apró parabolikus sugárvetőként működik. A simaorrú denevérfélék családjának tagjai változó rezgésszámú kiáltásokat hallatnak (FM-denevérek). Kiáltásaik hossza 0,05 mp-nél rövidebb. Torkukból bocsátják ki a hangokat (2: egérfülű denevér, 3: hosszúfülű denevér, 4: kései denevér)

perc alatt pedig valósággal „megdermednek", 0,5 mm-nél is rövidebb utat tesznek meg.)

A kutatók szerint még egy érdekessége van a patkósorrú denevérek kiáltásainak. Nemcsak állandó rezgésszámúak, hanem velük párhuzamosan egy oktávval magasabb hangok is szólnak valamivel halkabban, ahogy a megpendített hegedűhúr hangjában is felfedezhető az alaphangnál egy oktávval magasabban felcsendülő, kétszeres rezgésszámú, úgynevezett felharmonikus hang. Hogy a patkósorrú denevérek használják-e valamire ezt a különös felhangot, még ma sem sikerült kideríteni.

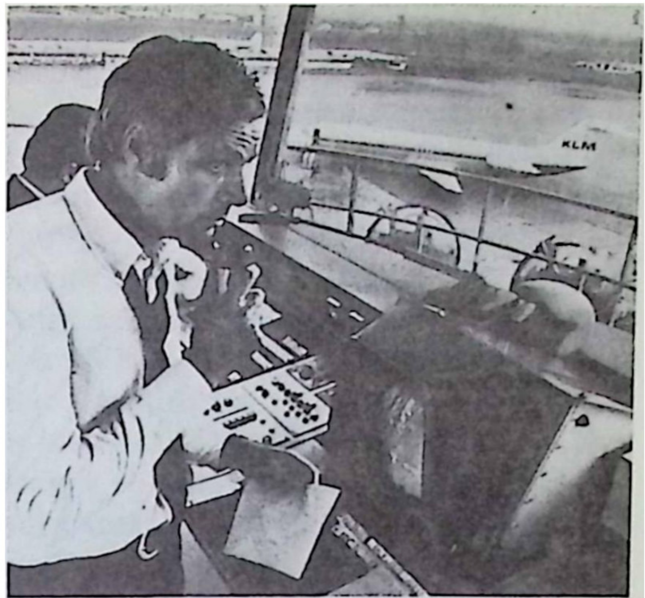
A simaorrú, a hosszúfülű, a szelindek denevérek még különösebb jeleket használnak. Hallhatatlan kiáltásaik sokkal rövidebb ideig hangzanak, mint az előző csoport tagjaié. Ezek az ultrahangimpulzusok rendszerint csak ezredmásodpercekig tartanak, így ha meghallhatnánk őket, rendkívül gyors csattanásoknak tűnnének. De még érdekesebb, hogy nem állandó rezgésszámot használnak, hanem egy-egy kiáltáson belül körülbelül fele rezgésszámra csökkentik hangjukat. A simaorrú denevérek általában 120 000 Hz rezgéssel kezdik a jelet, de mire befejezik, már 60 000 Hz-nél tartanak. Ez úgy hangzana számunkra, mintha valaki rendkívüli gyorsasággal a normál *a*-val kezdődő füttyét a hangskálán hirtelen lecsúszva, egy oktávval mélyebben, az alsó *a* hangon fejezné be. A technika jól ismeri ezt a hangképzési módszert, s minthogy a rezgésszám változtatására épül, ezért ezeket a hangokat frekvenciamodulált (FM) hangoknak nevezik, megkülönböz-



Macbeth, a kis barna denevér volt a főszereplője azoknak az ultrahangmérési kísérleteknek, amelyeket amerikai kutatók a Massachusetts Műszaki Intézetben végeztek. Ivóvizét szemcsepegtetőből adagolták, és naponta ellenőrizték testsúlyát is

tetésül a CF hangoktól, amelyek – mint a patkósorrú denevérek jelei – változatlan magasságúak (CF = constans – állandó – frekvencia).

Az FM-denevérek lokátorai általában nem 120 000 Hz-es hangokkal dolgoznak, hanem alacsonyabb rezgésszámon. Az amerikai kis barna denevérek (Myotis lucifugus) kutatóhangja például 90 000 Hz-en kezdődik, és 45 000 Hz-en fejeződik be, egy oktávval mélyebben. A legáltalánosabb tartomány azonban 60–80 000 Hz, amely a csattanó jel befejezésekor 30–40 000 másodpercenkénti rezgésszámra csökken.



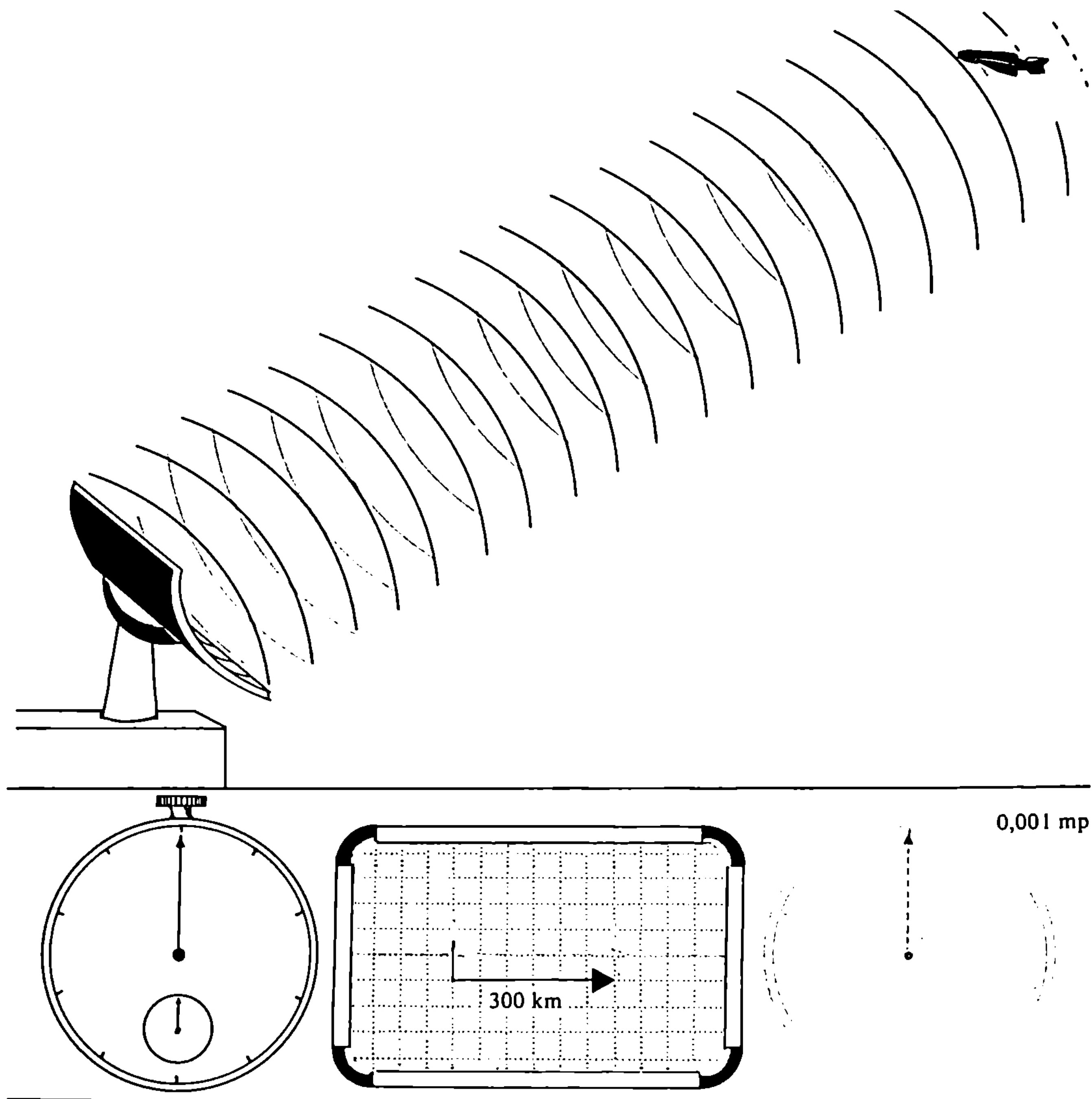
A repülőtéri radar ugyanazon az elven működik, mint a denevér lokátora. A forgó antenna elektromágneses hullámokat bocsát ki. Ha ezek a jelek egy közeledő repülőgépbe ütköznek, villámgyorsan „sarkon fordulnak", és visszatérnek az antennába. A jel kibocsátása és visszaverődése között eltelt időből kiszámítható a repülőgép távolsága. A korszerű lokátorok már körképet adnak, amelyen a repülőgépek világító pontjairól olvashatók le a légtéri adatok

A kiáltás visszakiált

Ahhoz képest, hogy egy kalapáccsal megütött vasúti sínben másodpercenként 5000 métert tesz meg a hang, a vízben pedig kereken 1500 m/mp sebességgel halad, a levegőben valósággal vánszorog: mindössze 340 métert tesz meg másodpercenként. Aki legalább ennyit tud a hangról, könnyen kitalálhatja a villámcsapást követő mennydörgésből, milyen messze van a közeledő vihar. Ha a villámlás után lassan számolni kezdünk (kb. egy másodperces időközökkel), a mennydörgés megérkezésének pillanata elárulja a távolságot: ha például 6-nál tartunk, a villám kb. két kilométer távolságban csapott le.

Mindenféle lokátor lényegében ugyanilyen távolságmeghatározásra alkalmas, azzal a különbséggel, hogy a lokátor saját jelet küld a távolba, és a jel visszaérkezéséig eltelt időből határozható meg a jel által megtett út. Ennek fele adja azután azt a távolságot, amely a lokátort elválasztja a felderített tárgytól. A jel lehet elektromágneses hullám – ezzel működnek a radarberendezések; lehet ultrahang – ezt használják a víz alatti tárgyakat és akadályokat felderítő szonárok. De lehet emberi füllel hallható hang is. Rossz látási viszonyok között a hajósok rendszeresen használják a mély hangon búgó ködkürtöt, amely a közelben tartózkodó vízi járműveket figyelmezteti a közeledő hajóra. A gyakorlott matrózok a ködkürt visszaverődő hangjai alapján még a part menti sziklák távolságát is megbecsülik – pusztán füllel.

Ezek után könnyen elképzelhető, hogyan használják a denevérek eleven lokátorukat távolságmérésre. Csak az a kérdés, miért éppen a hallhatatlan ultrahangokat. A kutatók erre több okot is találtak. Ilyen hangok rendkívül ritkán fordulnak elő a természetben. Ha számunkra is hallható kiáltásokkal próbálna tá-



Minden lokátor működési elve azon alapszik, hogy a keresősugár kibocsátása és visszatérése között eltelt időből kiszámítható a megcélzott tárgy távolsága. Az elektromágneses hullámok 300 000 km-t tesznek meg másodpercenként. Ha a lokátorsugár indulása és érkezése között 0,001 mp az időkülönbség, a hullámok 300 km utat futottak be. A repülőgép tehát 150 km távolságban van

jékozódni minden denevér, nemcsak alapos hangzavar keletkeznék, hanem a visszaverődő jelekkel együtt sok más állat hangját is felfognák, és nehezen tudnák eldönteni, melyik érkezett vissza saját hangjelzéseik közül. De az ultrahangok fizikai szempontból is számos előnyt kínálnak.

Ehhez előbb érdemes egy kicsit közelebbről is megismerkedni a hangok néhány tulajdonságával. Ha egy konzervdoboz bádogdarabkáját meghajlítjuk, hirtelen csattanó hangot hallunk. Az emberi hallástartományban ez a rövid hang jól utánozza a denevérek egy-egy ultrahangos kiáltását. A kattanó bádogdarab

hangja azonban szétszóródik minden irányban. Tegyük most a fémlapot egy parabola alakú lámpabura fókuszpontjába, és meglepve tapasztaljuk, hogy sokkal erősebb hang tör elő a burából. A hangot valósággal összenyalábolja a lámpaernyő, és csak egy irányban küldi előre. A felderítő denevéreknek éppen erre van szükségük. De nem hordhatnak magukkal állandóan egy ilyen óriási sugárvetőt, hiszen a legtöbb denevér alig tenyérnyi nagyságú. Kisebb parabolatányért használnak, amellyel csak rövidebb hullámhosszúságú – tehát nagyobb rezgésszámú – jelek sugározhatók. Íme, az egyik ok az ultrahangok használatára.

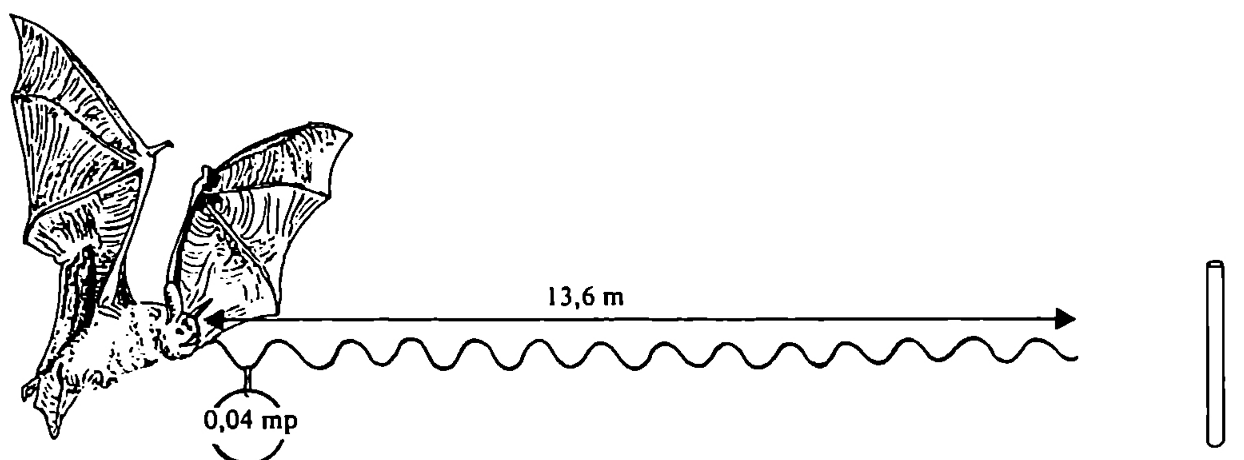
A hang hullámhosszának és rezgésszámának kapcsolata rendkívül egyszerű. Minél magasabb frekvenciájú a hang, annál kisebb hosszúságú hullámokban terjed. Ha elkattintott bádogdarabunk másodpercenként 10 000-szer rezegteti meg a levegőt, 10 000 hullámból álló „sugárvonat" indul el a levegőben, amelynek eleje egy másodperc alatt kereken 340 méter távol jut a bádogdarabtól. A „sugárszerelvény" 10 000 hullámból áll, tehát egy hullám hossza az egész távolság tízezred része, vagyis 34 mm. Ebből most már ésszerűen következik, hogy ha 20 000-szer rezegteti meg a hangkeltő a levegőt, a „sugárszerelvény" csak 17 mm hosszú darabokból állhat. A denevérek végső soron azért használnak ultrahangokat, hogy minél kisebb hullámhosszúságú „darabkákból" álló sugarakat indíthassanak útnak a levegőben egy-egy kiáltással.

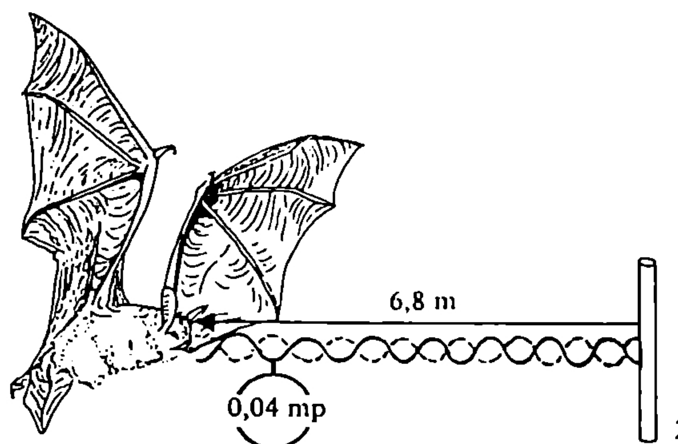
De miért van szükségük ilyen rövid hullámhosszúságra? A választ a kattogó bádogdarab is megadhatja. Ha egy fatörzshöz közelítünk vele, a csattanások visszhangja még tisztán kivehető. Ha azonban egy földbe szúrt sétabot felé irányítjuk, nem hallunk visszhangot. A fizikusok erre azt mondják, hogy a tárgyak annál erősebben verik vissza a hangot, minél nagyobbak a hang hullámhosszánál. A bádogdarab 3,4 cm-es hullámai könnyen visszapattannak a széles fatörzsről, de a 2 cm átmérőjű bot alig jelent számukra akadályt. Nem csoda, hogy a 120 000 másodpercenkénti rezgésszámú hangjelekkel a denevérek alig néhány milliméter kiterjedésű alakzatokat is biztosan felismerhetnek a sötétben. Így még a villámgyors szúnyogok is áldozatul esnek az eleven lokátorral felszerelt vadászoknak.

A kisebb termetű denevérek, amelyek kisebb áldozatokra vadásznak, magasabb hangrezgésű jeleket, a nagyobb denevérek viszont alacsonyabb frekvenciákat használnak – erre következtethetünk az előbbiekből. De a természetben nem egy kaptafára alakultak ki a „lokátorok", így ellenkező példák is szép számmal akadnak. Most már csak azt kell tisztázni, miért olyan rövidek a denevérek kiáltásai. Ennek is fizikai oka van, és szorosan összefügg a távolságmeghatározással.

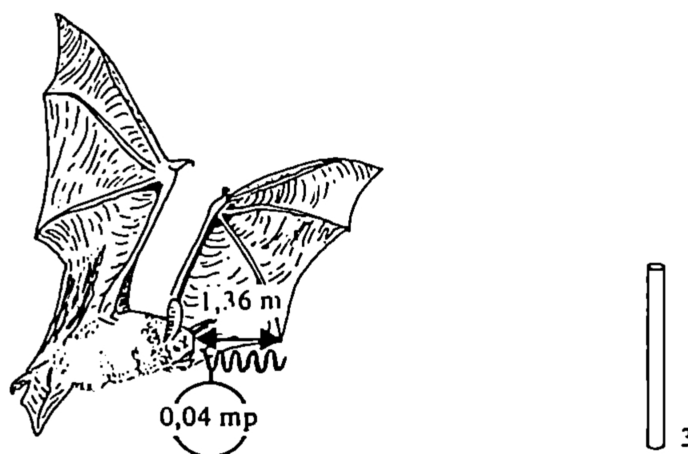
Ha egy zárt udvarban állva, a sima fal felé kiáltunk egy hosszú szót, még ki sem mondtuk az egészet, máris visszaérkezik a hang. Ha rövidebb szót kiáltunk, csak néhány pillanatnyi csend után tér vissza. Így addig közeledhetünk a falhoz, amíg az elkiáltott szó nem jön vissza olyan gyorsan, hogy az „eleje" éppen eléri a kiáltás „végét".

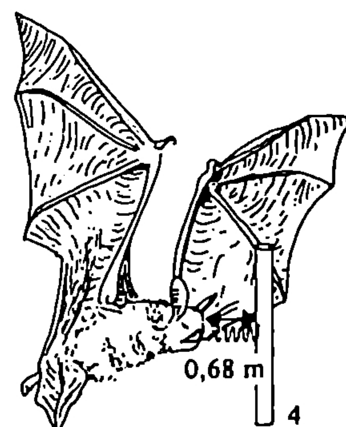
Valami hasonlót találunk a denevéreknél is. Csakhogy a kimondott szó az ő esetükben egy-egy ultrahangos kiáltás. Ha például valamelyik denevér 0,04 mp időtartamú hangot bocsát ki, akkor 6,8 méternél rövidebb távolságból már úgy érkezik meg a visszhang, hogy a denevér egyszerre hallja saját kibocsátott és visszaérkezett hangját. Így voltaképpen csak





egyetlen hangot hall! Ha viszont a kiáltás időtartama az előbbi tizedrésze, tehát csak 0,004 mp-ig hangzik, akkor már közelebb mehet a tárgyhoz, mégsem „fedi át" eredeti hangját a visszhang. A távolsághatár most éppen a tizedére csökken. De a 0,68 méter távolságban álló akadállyal megint úgy jár, mint az előbb: egyszerre hallja a kibocsátott és a visszaverődött hangot. Minthogy a denevérek nemcsak az akadályokat kerülik el (amelyeket tanácsos minél távolabbról észrevenni), hanem vadásznak is, ezért arra is szükségük van, hogy a sötétben egyre közelebbről kövessék nyomon menekülő áldozatukat az ultrahangos lokátorral.





Kiáltásainak hosszát a távolsághoz alkalmazkodva kell megválasztania a denevérnek. Ha például 0,04 mp-es impulzust bocsát ki, ez 13,6 m hosszú „sugárvonatot" alkot a levegőben (1). Amikor a denevér 6,8 m közel kerül a tárgyhoz, kiáltásának befejezésekor már meghallja visszaérkező visszhangját (2). Ezért rövidebb impulzusokra vált át (3), amelyek 0,68 m távolságig használhatók (4). A valóságban a denevérek sokkal finomabban változtatják kiáltásaik hosszát

Dúdoló denevérek

A denevérek lokátora bámulatosan érzékeny szerkezet. 10 × 3 méteres laboratóriumban azt vizsgálta Griffin, hogy az állatok milyen vékony huzalokat képesek elkerülni repülés közben a sötétben. Olyan huzalfüggönyt feszített ki a terem hátsó falától 45 cm-re, amelyben a szálak mindössze 30 cm-re voltak egymástól, így a kiterjesztett szárnyú kései denevér (Eptesicus) éppen átsuhanhatott közöttük. A kísérletek azt mutatták, hogy 0,12 mm vékony szálakat még könnyen felismert lokátoruk. Még 0,08 mm-es huzalok között is biztonsággal repültek, csupán akkor ütköztek a hálóba, ha a szálak ennél is vékonyabbak voltak.

Ez mindenesetre azt mutatja, hogy lokátoruk sokkal érzékenyebb, mint amit pusztán kisugárzott ultrahangjeleik hullámhossza alapján várhatnánk. Igaz, hogy a hosszú huzal sokat számít, mert ugyanannyi hangenergiát tükröz vissza, mint egy vastag, de rövidebb acélrúd. És persze a rendkívül érzékeny fül is segítség a visszaverődött gyenge jelek összegyűjtésében. A kis barna denevérnek (Myotis lucifugus) például kb. 2 mm a legrövidebb hanghullámhossza, de 0,2 mm-es huzalt is felfedez, csupán 0,1 mm-es szálak közt mond csődöt a lokátora.

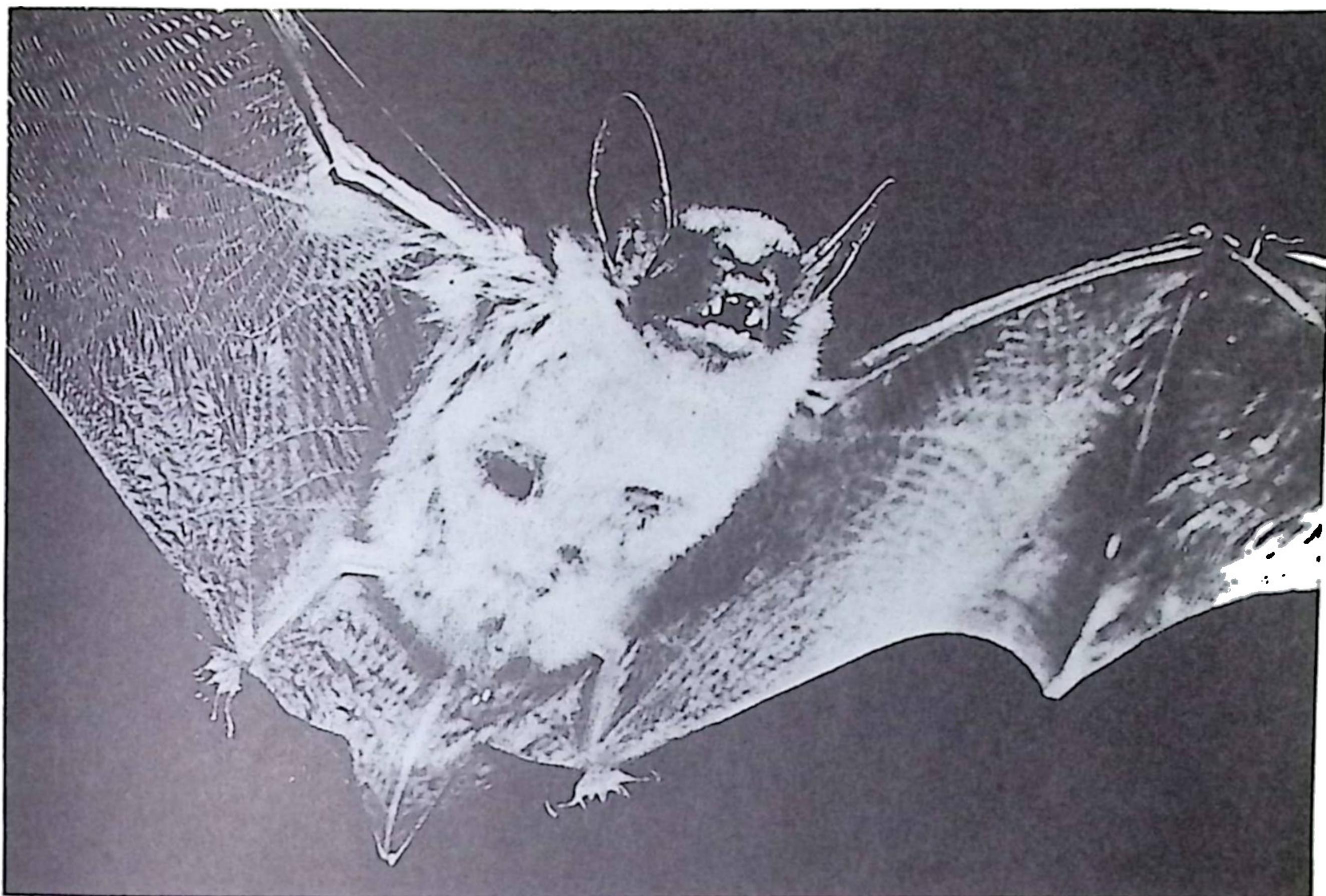
A terem faláról visszaverődő jelek erősen zavarták a huzalokról visszaérkező lokátorhangokat, de a denevérek így is tudtak tájékozódni. Ekkor a kutatók erős ultrahangsugárzóval próbálták megzavarni repülésüket. Érzékeny hallásukkal a denevérek most is pontosan kiválasztották saját kiáltásaik visszhangját. Még akkor is, ha az 2000-szer halkabban érkezett vissza, mint a kibocsátott jel. Bravúros akadályversenyük során repülési sebességük a laboratóriumi kísérletekben másodpercenként kb. 4 méter volt, tehát rendkívül gyorsan kellett tudomást szerezniük az akadályokról, hogy megfelelő szárnymozdulatokkal idejében kikerülhessék őket.

Ha összemérjük az ember alkotta műszereket az eleven lokátorokkal, nem kell szégyenkezniük a denevéreknek. Minthogy az ősállattan kutatói szerint kb. 70 millió évvel ezelőtt jelentek meg a Földön a denevérek, valóban volt idejük tökéletesíteni felderítőeszközüket. Hasonlítsunk össze egy 12 dkg súlyú kései denevért, egy 90 kg súlyú radarberendezést (amely elektromágneses hullámokat bocsát ki) és egy 450 kg súlyú szonárt (amely ultrahangokkal működik). A rádiólokátor 80 km távolságból 3 méter átmérőjű tárgyat fedez fel, a szonár 2,5 km-ről vesz észre egy 5 méter átmérőjű tárgyat, a denevér pedig 2 méterről 0,1 mm kiterjedésű akadályra figyel fel. Az energiafelhasználás szempontjából a denevér lokátorának kisugárzott jelei mindössze 0,000 01 watt teljesítményűek, ezzel szemben a rádiólokátor 10 000 wattot, a szonár pedig 600 wattot sugároz. Ezeket az adatokat egybevetve kiderül, hogy a denevérek lokátoros felderítésének hatásfoka billiószor jobb, mint a régebbi típusú rádiólokátoroké, de még napjaink korszerű radarjainak érzékenységét is százszorosan felülmúlja. Nem véletlen tehát, hogy a biofizikusok behatóan tanulmányozzák ezt a különös találmányt. Pontosabb megismerése kétségtelenül hasznos lehet, hiszen olyan műszaki megoldásokra derülhet fény, amelyek a természetben ősidők óta már beváltak, tehát a technikában is valószínűleg sikerrel alkalmazhatók.

Pedig a denevérek meglehetősen primitív módon keltik az ultrahangokat. Nem ismerik a piezoelektromos kristályt, amely – ha váltakozó áramot vezetnek át rajta – az áram feszültségingadozásá-



Nagy zársebességű fényképezőgép és érzékeny ultrahangfelvevő berendezés a legfontosabb kelléke a laboratóriumi kísérleteknek. És persze egy denevér! Időnként a háttérben látható lepkefogó hálóval kell lehalászni a falról, ha valamelyik kiszögellésben megkapaszkodik



Nem azért repülnek nyitott szájjal a simaorrú denevérfélék családjába tartozó éjjeli vadászok, mintha így várnák a levegőben repkedő rovarokat. A tátott száj a torokban keletkező ultrahangok kibocsátásának legbiztosabb jele. A közönséges denevérről is kiáltás közben készült a villanófényes felvétel

nak ütemében vibrálni kezd, és a környező levegőt vagy vizet megrezegtetve kelti az ultrahangokat. Csupán a tüdejükből kiáramló levegővel mesterkednek. Gégéjük közönséges sípra emlékeztet, azzal a különbséggel, hogy a hallható hangoknál magasabb rezgésszámmal táncoltatja meg a rajta átáramló levegőt. Ilyen a Galton-féle síp is. Első pillantásra alig tér el egy közönséges síptól, de az a különlegessége, hogy rezgő levegőoszlopának hossza finoman változtatható. Ha valaki fújja a sípot, és közben egyre beljebb csavarja a végét, fokozatosan emelkedő hangot hall. Nemsokára a sípszó már olyan magassá válik, hogy csak a legérzékenyebb fül hallja meg. Ha még tovább csavarják, már hiába szól a síp: csak az ultrahangokra érzékeny állatok figyelnek fel rá.

Felderítés közben a denevér időközönként feltartóztatja a gégéjén átáramló légsugarat, majd egy záróizom kilazításával ismét felszabadítja a nyílást. A hang szinte robbanásszerűen távozik – ebből keletkezik az ultrahangimpulzus. Nyugodt repüléskor 5–10 kutató kiáltást bocsát ki az állat másodpercenként, de amikor a zsákmány közelébe ér, kiáltásai megszaporodnak. A röpködő áldozat megragadásakor akár 200-ra is felszökhet lokátorjeleinek gyakorisága.

Az FM-denevérek, tehát a simaorrúak és társaik, amelyek „lefelé skálázó" kiáltást hallatnak, rendszerint ezzel a módszerrel rendkívül rövid, néhány ezredmá-



Mulatságos ábrázatukat apró csészealjra emlékeztető orruknak köszönhetik a patkósorrú denevérfélék családjának tagjai. Az orrukon át kiáltanak. Ezzel egy időben az egyik fül hátulról előre-, a másik pedig elölről hátrafordul, kutatva a visszaverődő jelek után

ṡodperces impulzusokat bocsátanak ki. A CF-denevérek viszont, tehát a patkósorrúak, amelyek csak egyetlen hangot „énekelnek", kitartóbb impulzusokat keltenek, és nem a szájukon keresztül, hanem az orrukon át áramoltatják ki a levegőt. Ezek a denevérek szinte csak „dúdolnak", mert csukott szájjal is tudnak felderítő füttyöket kibocsátani, sőt még evés közben is hallatják ezeket a hangokat.

De nehogy azt higgyük, hogy ezek halk hangok! Ha érzékeny lenne fülünk az ultrahangok rezgésszámaira, alaposan megdöbbennénk. A leggyengébb denevérkiáltás is 5000-szer erősebb annál a finom hangnál, amelyet még képesek vagyunk meghallani. Ezt azok a kísérletek mutatták ki, amelyek során 5 cm távolságban tartották az ultrahangmikrofont a denevér szája előtt, és magnetofonon rögzítették hangjait. Találtak olyan eleven lokátorokat is, amelyeknek jelei a hallható rezgések tartományában egy sugárhajtóműves repülő dübörgésével vetekednének. Ebben csak a hajókra szerelt ultrahangos szonárok tesznek túl a denevéreken: egy-egy kutató impulzusuk olyan hangerővel tör elő, mintha hatmillió ember kiáltott volna egyszerre a víz alatt.

Persze szükség is van erre az óriási hangerőre. A denevérkiáltás hanghullámai gömbszerűen terjednek szét a levegőben, s csak nagyon kis részük verődik vissza például egy gyanútlanul repkedő szúnyogról. Általában minél nagyobb felderítő területen dolgozik a denevér lokátora, annál hangosabb jelet sugároz. A patkósorrú denevérek már 6–7 méter távolságból észreveszik a leendő zsákmányt. A nagyobb hatósugárral együttjárnak a hosszabb időtartamú impulzu-

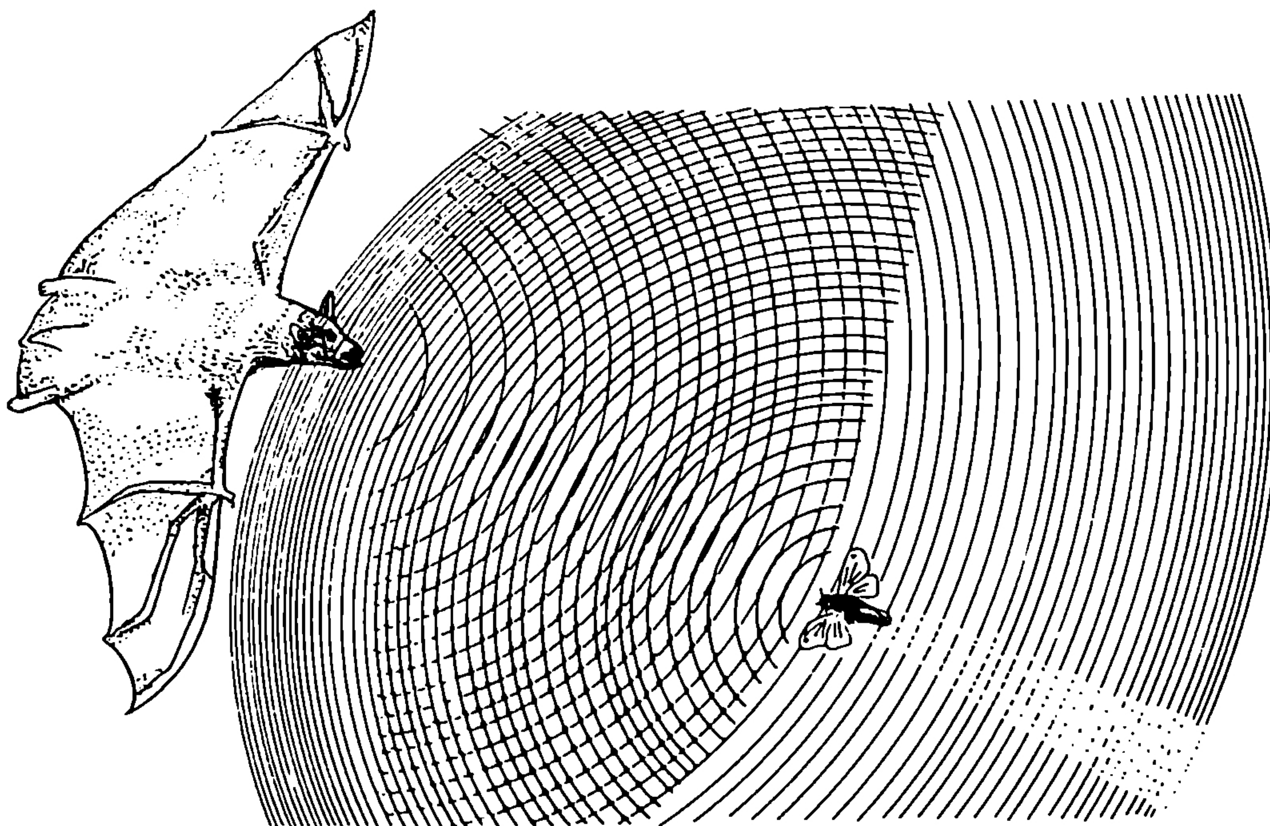
sok, és ezek a denevérek általában gyorsabban is repülnek más típusú lokátort használó társaiknál.

A kisebb vadászterületű denevérek viszont csak „suttogó" jeleket sugároznak szét. Lassabban repülnek, és A. Novick amerikai professzor feltevése szerint egyszerre akár 3–10 tárgyról képesek felfogni a visszhangokat. Ekkor kiválasztják a számukra legérdekesebbet (például egy röpködő rovar jelét), és többé ügyet sem vetnek a mozdulatlan tárgyakra, faágakra, gyümölcsökre. Figyelmüket csak a legközelebbi rovarra összpontosítják, így kiáltásaik még halkabbá válnak, hogy csak a mozgó alakot vehessék „szemügyre", miközben a távolabbi tárgyakról ezek a halk hangok már olyan gyengén verődnek vissza, hogy meg sem hallja őket a denevér.

Pingpongjáték a fülben

A kutatók három jól elkülöníthető szakaszt figyeltek meg a vadászó denevér mozgásában és lokátorának működésében. Az első szakasz a „keresés", a második az „üldözés", a harmadik pedig a „támadás", amelynek végén a denevér megkaparintja a zsákmányt.

A részletes vizsgálatok már a „keresés" szakaszában érdekes összefüggésre derítettek fényt. Nem véletlen, hogy a különféle denevéreknek mekkora a kutatási körzetük, amelynek peremén először vesznek tudomást a rovarzsákmány megjelenéséről. Ez szorosan összefügg azzal, hogy milyen időtartamú kereső impulzusokat bocsátanak ki. A nagy patkósorrú denevér például 0,05 másodpercig tartó kiáltásokkal deríti fel környezetét, így kb.



A denevér kiáltásának ultrahanghullámai felfúvódó szappanbuborék módjára terjednek a levegőben. Ahol a hullámok beleütköznek például egy gyanútlanul repkedő rovarba, egy részük visszaverődik, és szétsugárzódva száll vissza. Így a denevérnek rendkívül hangosan kell kiáltoznia ahhoz, hogy a visszaverődött hullámok gyenge töredékét meghallja

8,6 méter távolságban veszi észre a röpködő falatot. A hártyásorrú denevérfélék családjába tartozó leveles ajkú denevér (Chilonycteris psilotis) viszont sokkal rövidebb kutatójeleket sugároz. Négy ezredmásodpercig tartó kiáltásaival csak a 68 cm-nél közelebb felbukkanó zsákmányra figyel fel. De miért nem vesz tudomást egy távolabb röpködő éjjeli lepkéről?

Erre az előbb említett leveles ajkú denevér lokációjának pontosabb vizsgálata adott választ. Ez az állat a „keresés" szakaszában percenként 18 impulzust bocsát ki. Egy-egy hallhatatlan kiáltás időtartama 0,004 másodperc. Ez azt jelenti, hogy kibocsátott „hullámvonatának" hossza 340 m/mp·0,004 mp = 1,36 méter. Ha ez a hullámsor 68 cm-re levő tárgyról verődik vissza, a „kiáltás" vége éppen találkozik a visszaverődött hullámsor elejével, mint egy félbehajtott harmonika. 68 cm-nél távolabbról a denevér még „hallja a csendet" a kiáltás és a beérkezett visszhang között, de ilyenkor már nem. Most a kiáltás és annak visszhangja egybefolyik. Ha a tárgy még közelebb van, a hullámsor átfedése még nagyobb lesz.



A vadászat utolsó pillanata. A laboratóriumban röpködő denevér bekapja a felfüggesztett kukacot. Ezúttal tökéletes volt a lokátoros felderítés, de a kívánatos falat nem is tudta változtatni helyét a térben. Ha egy fürge éjjeli lepke a zsákmány, a denevér néha a szárnyával ragadja meg, és úgy viszi a szájához

Minden valószínűség szerint tehát a kibocsátott kutató hang és a visszhang egybeolvadása kelti fel a denevér figyelmét a sötétben röpködő rovar iránt. Nagy előnye ennek a módszernek, hogy az együtthangzásból a denevér rögtön tudja azt is, milyen távol van tőle az áldozat. Tehát semmiféle külön távolságmérésre nincs szüksége, csak a fülére kell hallgatnia.

Az események ezután drámai gyorsasággal peregnek. A denevér egyre közeledik a gyanútlan rovarhoz, és körülbelül fél méterre tőle már 100 impulzust bocsát ki másodpercenként. De nincs idő ennyi jel kisugárzására, mert az „üldözés" szakasza még egy sóhajtásnál is rövidebb, mindössze 0,2 mp-ig tart. A befejező „támadáskor" már valóságos „berregéssé" válik a lokátor hangja, másodpercenkénti impulzusainak száma 170-re szaporodik. A támadás szakasza mindössze 0,075 mp, s a denevér már el is kapta a rovart.

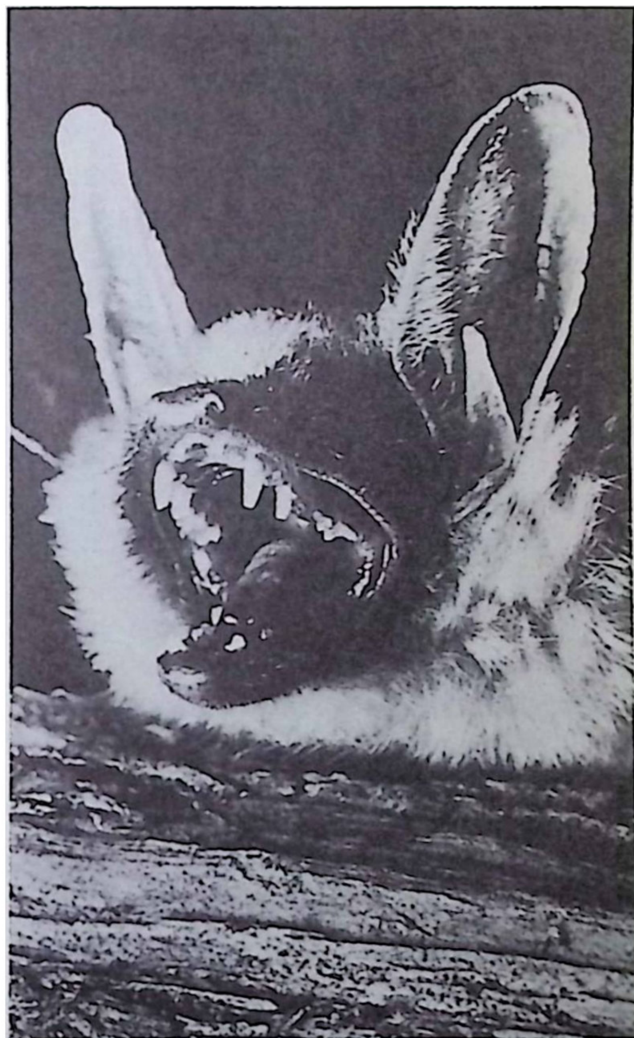
De miért kezdi gyorsítani kiáltásait a denevér? Ésszerűnek látszott az a feltevés, hogy amint a célponthoz közeledve egyre rövidebb idő alatt érnek vissza kiáltásai, egyre hamarabb kell újabb impulzust kibocsátania, ha nem akarja, hogy a kisugárzott hangok és a visszhangok teljesen összekeveredjenek fülében. Ennek alapján E. J. Pumper szovjet kutató

érdekes elméletet állított fel: a denevér mindig akkor küldi újabb hangimpulzusát, amikor éppen felfogta az előzőt, különben nem tudná megkülönböztetni saját kiáltását és a visszaérkezett hangot. Világos elképzelés, de a legújabb vizsgálatok bebizonyították, hogy a valóság sokkal bonyolultabb. Amikor a denevér felfedezi áldozatát, az „üldözés" szakaszában igenis hagyja, hogy „átfedje" egymást a kibocsátott hang és a visszhang!

Nem úgy jár, mint a kiabáló beaténekes, akinek a fülébe akarnak súgni valamit, és egy szót sem ért a zajban? Szó sincs róla! Dobhártyája ugyanis a három hallócsontocskával és a belsőfül csigajáratával együtt parányi dobozként van hangszigetelten felfüggesztve koponyájában. Kocsonyás, rugalmas sejtszövetből álló szigetelőanyag akadályozza meg, hogy a kiáltások okozta csontrezgések átterjedjenek a közép- és belsőfülre. A Yale Egyetemen azt is megállapították, hogy 0,01 másodperccel minden kiáltás előtt a denevér megfelelő izmok összehúzásával rögzíti középfülének három apró csontocskáját, így ezek sem közvetíthetik a kiáltás hangját belsőfülébe. Csak a hangimpulzus vége felé lazulnak el ezek az izmok, amikor már a visszhangot kell figyelnie a fülnek. Ez a biofizikai megoldás tehát megőrzi a fül érzékenységét, így az előző kiáltás korábban is visszaérhet, és átfedheti a következő kiáltást. De miért van szüksége a denevérnek arra, hogy lokátorhangjai átfedjék egymást? Ennek megértéséhez előbb az ember alkotta ultrahangos lokátorok – a szonárok – világába kell ellátogatnunk.

A *Kegyetlen tenger* című film egyik felejthetetlen jelenete volt, amikor a rádiósszobában feszült figyelemmel ültek a tisztek, és a dermesztő csendet csak egy ütemesen felcsendülő hang szakította meg. Ping-ping-ping – hallatszott idegtépően. Egyszer csak a hang magasabbá vált! Az arcok megfeszültek. Ellenséges tengeralattjáró közeledtét jelezte a lokátor hangja...

Az ultrahangokat érdekes módszerrel teszik hallhatóvá a lokátorkezelők számára. Ha a szonár például 23 000 Hz-es hangokat bocsát ki, ezzel együtt a készülék 22 000 Hz-es rezgésszámú hangokat sugároz szét a megfigyelőszobában.



A simaorrú denevérfélék lokátorát tökéletesebbnek tartják a kutatók, mint a patkósorrúakét. A „dúdolástól" a torokból előtörő kiáltásokig hosszú út vezetett a törzsfejlődésben. Az egy oktávot lefelé „skálázó" lokátorjelekkel a simaorrú denevérek általában 2,0–2,4 méter távolságból képesek felfedezni a sötétben röpködő rovarokat

Mind a két hang hallhatatlan. De ha a lokátor visszaérkező hangimpulzusa találkozik az állandó hangjellel, a két rezgésszám különbsége 1000 Hz-es hangot kelt, amely már hallható. Ez adja a jellegzetes harangütésszerű hangot.

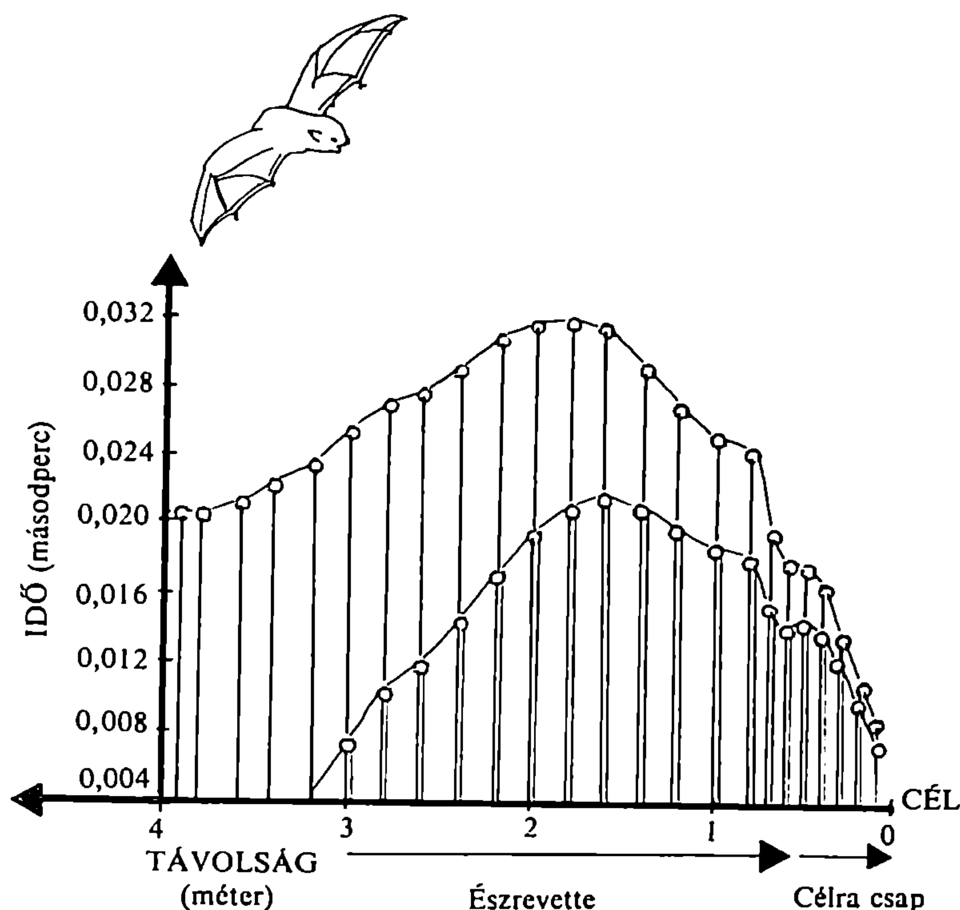
Mi történik azonban, ha például egy közeledő tengeralattjáróról verődik vissza a lokátorjel? Ekkor a hang furcsa módon magasabb rezgésszámmal érkezik vissza, mint amellyel elindult. Ez az úgynevezett Doppler-jelenség figyelhető meg akkor is, amikor egy közeledő vonat füttye magasabbnak, a távolodóé pedig mélyebbnek tűnik. A felénk közeledő tárgy szinte harmonikaszerűen összenyomja a hangok „hullámvonatát". Csökken a hullámok hosszúsága, egy másodpercbe több fér belőlük, tehát növekszik a hang rezgésszáma. Tegyük fel, hogy a lokátorba ekkor már 23 500 Hz rezgésszámmal érkezik vissza az ultrahangjel. Mit hall a megfigyelő? 1000 Hz helyett 1500 Hz-es hangot, ami magasabb, mint az eredeti különbségi hangjel. A gyakorlott lokátorkezelő ebből a hangjátékból pusztán „füllel" még azt is meg tudja állapítani, hogy a tengeralattjáró éppen fordul, vagy csökkenti sebességét.

Nagyon valószínű, hogy a denevér fülében is valami hasonló jelenség megy végbe. Kibocsátott és visszaérkező hangjának „átfedése" voltaképpen a hajólokátorok különbségi hangját állítja elő számára. Ha a szúnyog például éppen egy helyben táncol, s csak a denevér repül felé egyenletes sebességgel, a különbségi hang azonos magasságon marad, s a denevér talán ezt hallja: pang-pang-pang. Ha azonban a szúnyog valamit megneszel, és menekülni kezd, a denevér egyszer csak ezt hallja: pong-pong-pong. És minél gyorsabban menekül az áldozat, annál inkább mélyül a hang. Ha azonban a szúnyog mit sem sejtve a szárnyas vadász felé repül, egyszerre emelkedni kezd a denevér által hallott különbségi hang: ping-ping-ping.

Persze nem tudjuk bizonyosan, hogy ez a „pingpongjáték" valóban végbemegy-e a denevér fülében vagy pontosabban: agyában, ahol a hangjelek villamos ideg-ingereinek összehasonlítása is elég ahhoz, hogy a különbségi hang képzete létrejöjjön. De tény, hogy egy-egy kibocsátott és visszaérkezett hangjel rezgésszámkülönbsége alapján pontosan tájékozódik a denevér a célpont sebességéről. A sikeres vadászathoz ugyanis három dolgot kell villámgyorsan megtudnia: áldozatának távolságát, irányát és viszonylagos sebességét. Amikor a denevér felfedezi a lebegő rovart, egyúttal érzékeli távolságát is az első összeolvadó hang–visszhang alapján. A közeledés sebességét minden valószínűség szerint az „üldözés" szakaszában méri be szinte reflexszerűen, amikor a különbségi hang játékát figyeli, mint a gyakorlott lokátorkezelők.

Az ultrahangos időmérések szerint a legtöbb denevér lokátorjeleiben megfigyelhető az „átfedés", sőt repülés közben még az átfedések hossza is változik, de ennek jelentőségét még nem sikerült feltárni. A hártyásorrú denevérfélék családjába tartozó Chilonycteris parnellii nevű leveles ajkú denevérfaj például 2 méterre egy muslicától már 0,019 másodperces átfedéssel figyelte saját impulzusjeleit, 1,65 méter távolban pedig a „belső hang" hossza elérte maximumát: 0,021 mp-et. Ettől kezdve egyre rövidebb időtartamú impulzusokat bocsátott ki, kiáltásainak átfedési ideje is rövidült, míg le nem csapott áldozatára.

De nemcsak a különbségi hang magasságingadozásából lehet következtetni a sebességre. Vannak olyan szonárok is, amelyekben az összehasonlításra szolgáló ultrahang változtatható. Ilyenkor a se-

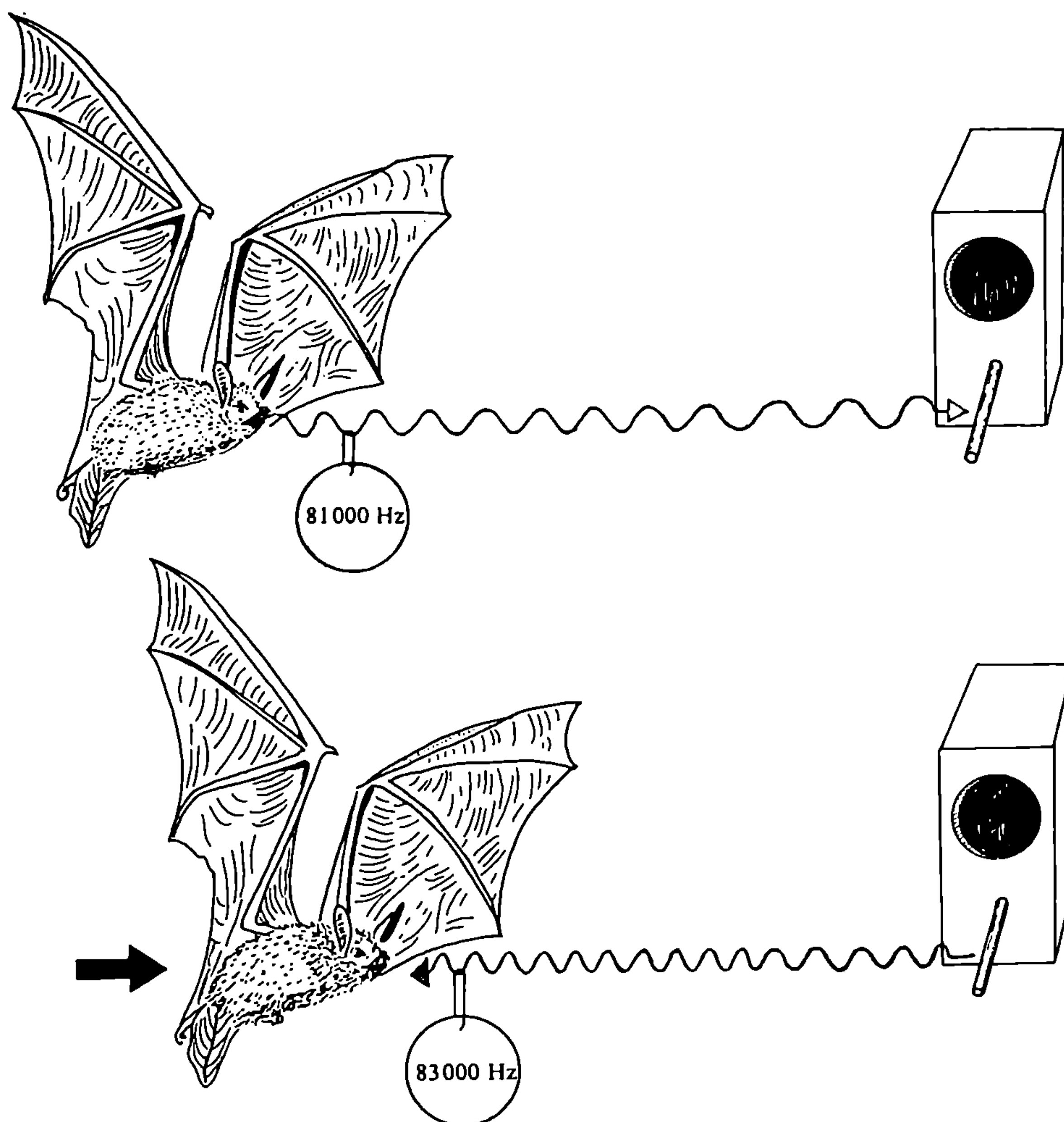


A Chilonycteris parnellii denevér még kiált, amikor már meghallja saját visszhangját. A hang és visszhang átfedési hossza a zsákmány felé közeledéskor egyre csökken. Így a denevér pusztán a hangátfedések időtartamából és a hangmagasságból tájékozódhat folyamatosan, hogy milyen messze van még a cél. A fekete függőleges vonalak a kiáltások hosszát, a kékek a visszaérkező és új impulzusok átfedési idejét mutatják

bességmeghatározásban nincs egyedül a fülére utalva a lokátorkezelő. Ha például egy közeledő halrajról 23 500 Hz-es jel érkezik vissza a 23 000 Hz-es kisugárzott jel helyett, akkor egy hangolókorong elfordításával a kezelő az állandó hangjel magasságát is megváltoztatja. Így 22 000 Hz helyett 22 500 Hz rezgéssel találkozik a visszaérkező ultrahang, tehát a hallható frekvenciakülönbség változatlanul 1000 Hz marad. A kezelő ugyanazt a magas, ismétlődő hangjelet hallja továbbra is, mint amikor a lokátor még nem vette észre a halraj közeledését.

Ez a lokátortípus lényegesen megkönnyíti a kezelő munkáját. Egyrészt csak arra kell ügyelni, hogy változatlan magasságon szóljon a különbségi hang, másrészt a hangolókorongról közvetlenül leolvasható, hogy milyen sebességgel mozog a halraj. De ez a megoldás nemcsak a mérnököknek jutott az eszébe. A nagy patkósorrú és a kereknyergű patkósorrú denevérek már valószínűleg évmilliók óta alkalmazzák ezt a sebességmérési módszert.

H. U. Schnitzler a tübingeni egyetemen megmérte az etető felé szálló denevérek kiáltásainak rezgésszámát, és meglepve tapasztalta, hogy ez a frekvencia alacsonyabb, mint amit nyugalmi helyzetben bocsátanak ki a denevérek. Az etető felé szállva, a kereknyergű patkósorrú denevér 83 000 Hz-es kiáltások he-



Szinte „ráhangolja" magát a denevér a céltárgyra, ebből tudja meg, hogy milyen sebességgel repül. Amikor az etető felé száll, csak arra ügyel, hogy mindig azonos magasságú visszhangot halljon (például 83 000 Hz-et). Ezért repülés közben bizonyos sebességnél 81 000 Hz-es kiáltásokat hallat (fent), így a hozzá érkező visszhang változatlanul 83 000 Hz-nek hallatszik (lent)

lyett csak 81 000 Hz-eseket bocsátott ki, a nagy patkósorrú viszont 104 000 Hz helyett csak 101 700 Hz-es impulzusokat használt.

A kutató tisztában volt azzal, hogy az etető felé szálló denevérek füléhez magasabb rezgésszámmal érkeznek vissza a kiáltások, mint amilyenekkel elindultak. A repülési sebesség és a távolság ismeretében tehát kiszámította a visszaérkező jelek rezgésszámát. Meglepve pillantott az eredményre: 83 000 és 104 000 Hz volt. Ezek a denevérek tehát repülés közben is ugyanazt a hangrezgést hallják, mint amit nyugalmi helyzetben bocsátanak ki. Kiáltásaik „hangolásával" kiküszöbölik a Doppler-jelenséget, és egyúttal ez az elhangolás tájékoztatja őket a célponthoz

viszonyított sebességükről. Közben csak arra kell ügyelniük, hogy fülükben a megszokott rezgésszámú visszhangot hallják. Egy másik kísérletben ezek a denevérek még arra is képesek voltak, hogy egy ingával szembeültetve, váltakozó rezgésszámú kiáltásokat küldjenek a közeledő-távolodó ingakorongra. Valósággal ráhangolták magukat, miközben a visszhangok megszokott rezgésszámát hallgatták.

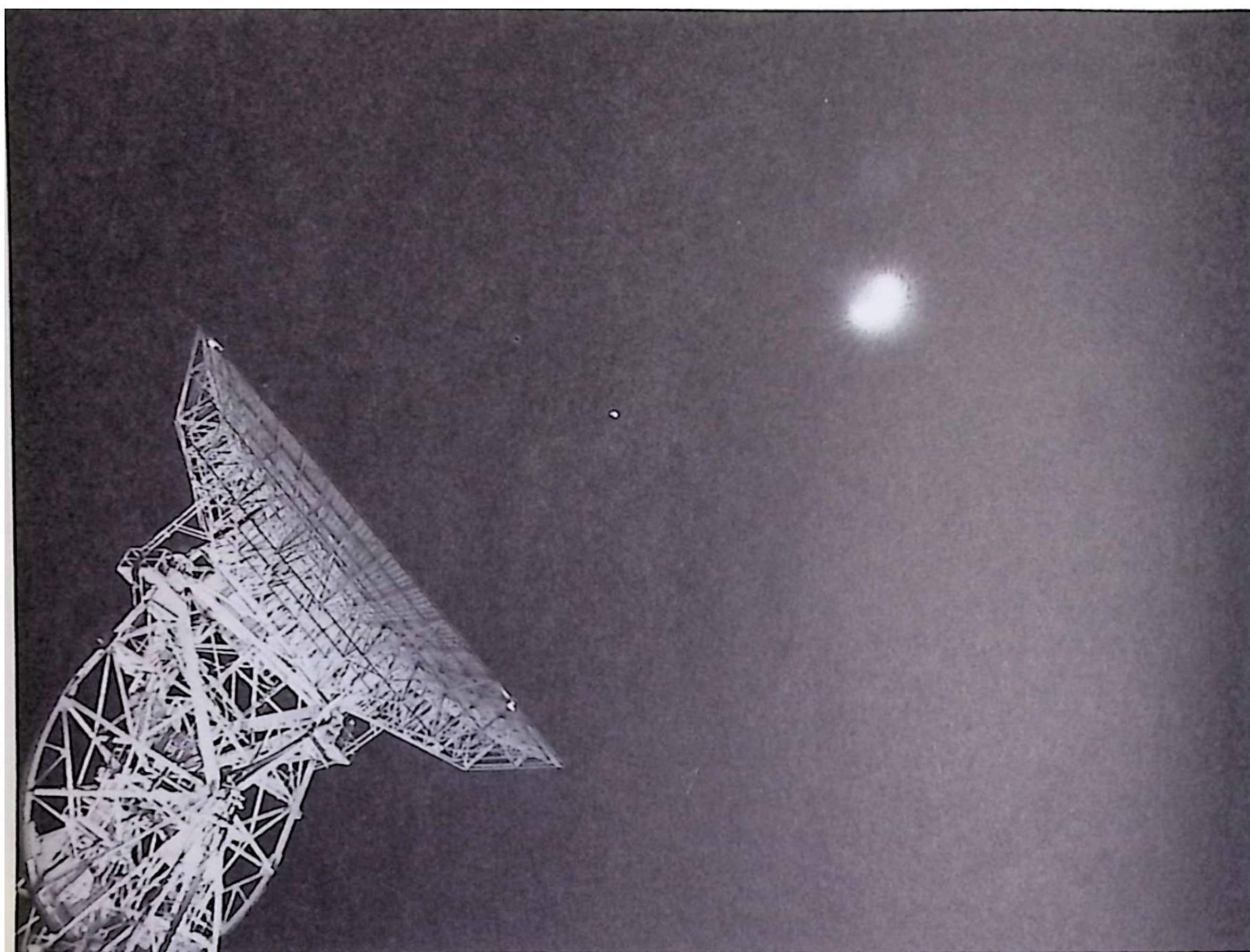
Ez azt mutatja, hogy lokátorukat egyetlen tárgyra tudják összpontosítani! Hiába verődnek vissza más tárgyakról is a lokátorjelek, csak a kiválasztott célra „fülelnek". Amire csak a szemünk képes, azt a denevérek a fülükkel is meg tudják tenni! Ha például egy repülő madarat figyelünk, csak ezt látjuk élesen, de mögötte a fák és a házak már homályosak. A denevér ugyanígy egy repülő rovart figyelve minden mást „homályosan hall", csak a kiszemelt áldozat mozgását érzékeli élesen a visszaverődő ultrahangimpulzusok segítségével.

„Képhallás"

A rádióteleszkópok óriás parabola-antennái éjjel-nappal szüntelenül figyelik a világegyetem távoli tájairól érkező rádiójeleket. Amikor a parabola tengelye pontosan a csillag irányába mutat, a jelek is a legerősebbek. Ha az óriás tányér elfordul, rögtön gyengül a vétel. A denevéreknek viszonylag kis fülük van, de éppúgy mozgatható, mint egy parabolaantenna. A. D. Grinnel és N. Suga vizsgálatai szerint nyugalmi helyzetben a fülek a test hossztengelyétől 30 fokkal oldalirányban a legérzékenyebbek. A denevér fülkagylójának forgatásával, hallás alapján is megállapíthatja, honnan verődnek vissza ultrahangkiáltásai a legerősebben. A röpködő szúnyog nyilván ebben az irányban van. Ha ezután fülével a legerősebb visszhangok irányát követi, „szemmel" tarthatja a leendő zsákmányt, ahogyan a második világháborúban az óriás fényű reflektorok „elkapták" és követték az ellenséges repülőgépet, hogy a légvédelmi tüzérek jól láthassák a célpontot a sötétben.

Az éjjeli vadászatra induló denevér azonban két füllel tájékozódik. Így nemcsak a kiszemelt rovar irányát, hanem távolságát is szüntelenül bemérheti térhallásával. Nemcsak úgy, hogy két füle állandóan a visszaverődő hangok irányába szegeződik, amiről a feszítőizmok megfelelő információt küldenek agyába, hanem a hangok időkülönbsége alapján is. Képzeljük el, hogy a zümmögő szúnyog egy helyben lebeg. Az ultrahangkiáltások egymás után verődnek vissza róla. A „bőrköpenyes vadász" fülel. Hol lehet a szúnyog? Ha jobb füléhez valamivel később ér a visszhang, mint a balhoz, semmi kétség: a szúnyog balra van. Ennek a hajszálnyi időkülönbségnek az alapján a denevér pontosan tájékozódik, ahogy az ember is meg tudja mondani, merre hangzott fel a sötétben például a bagoly kiáltása. De a denevér irányérzékenysége két és félszer pontosabb.

Mindezek alapján egyre biztosabbnak tűnik, hogy a sebesen suhanó kis állatok valóságos „képhallással" rendelkeznek. Ugyanazt „látják" a sötétben a fülükkel, amit mi világos nappal a szemünkkel. A hosszúfülű denevérek 90 fokos szögben szórják előre ultrahangsugaraikat. Mintha apró hangreflektorral „világítanák" meg környezetüket. A patkósorrú denevérek hanghullámai csak 20 fokos sugárkúpot alkotnak. Mintha éles fényű zseblámpával pásztáznának maguk előtt. Ha azután „megpillantanak" valamit, ami több figyelmet követel, szűkítik a



Óriási rádióteleszkópok szegeződnek az éjszakai égboltra a legnagyobb csillagvizsgálókban. A szakemberek a világegyetem láthatatlan égitesteit keresik, amelyek csak rádióhullámokat bocsátanak ki. Amikor a forgó parabola-antennában a legerősebbé válnak a jelek, a kutatók bizonyosan tudják, hogy az antenna tengelye éppen a láthatatlan sugárforrás felé mutat. A denevérek hasonló módon használják tölcséres fülüket a visszhangok mérésére

hangsugárnyalábot, mintha valaki zseblámpájának fénykörét vonná kisebbre, hogy erősebb fényt kapjon.

Lokátoruk valóban több, mint egyszerű távolságmérő műszer. Azonos alakú tárgyakról el tudják dönteni a sötétben, melyik az élelem, és melyik a számukra értéktelen kődarab. A laboratóriumban kifeszített huzalokról repülés közben állapítják meg, hogy vízszintesen vagy függőlegesen helyezkednek-e el. Sven Dijkgraaf, az utrechti egyetem kutatója még arra is meg tudta tanítani kísérleti denevéreit, hogy különbséget tegyenek egy kereszt és egy kör alakú tárgy között. Az állatok valóban úgy viselkedtek, mintha látnának a sötétben!

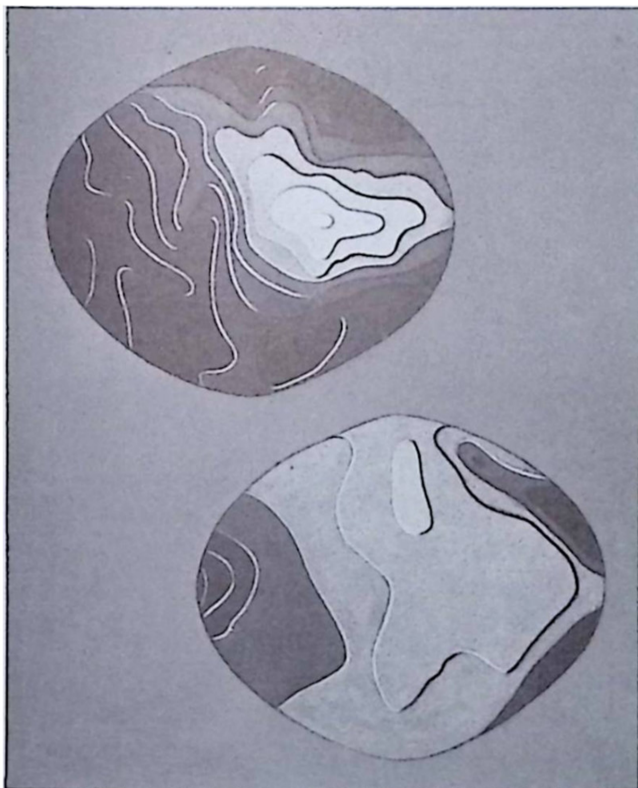
A hangok nyilván ugyanolyan tájékoztatást nyújtanak számukra, mint más állatoknak a fény. Talán a denevérek a fényhez hasonlóan is kezelik az információkat? Ifj. dr. Greguss Pál erre gondolva dolgozta ki meglepő elméletét, amely szerint a denevér agyában biohologramok keletkeznek. A hologram – a Nobel-díjas Gábor Dénes professzor találmánya –

olyan fénykép, amely egy tárgy térbeli képének valamennyi adatát őrzi. Ha egyszínű fénnyel (lézersugárral) világítják át, megjelenik mögötte a tárgy háromdimenziós képe. Elképzelhető, hogy a denevér agyába futó hangingerek villamos jelei ugyanilyen térbeli képet keltenek. Az állat tehát – pusztán a hangok segítségével – egész környezetét maga előtt láthatja három dimenzióban.

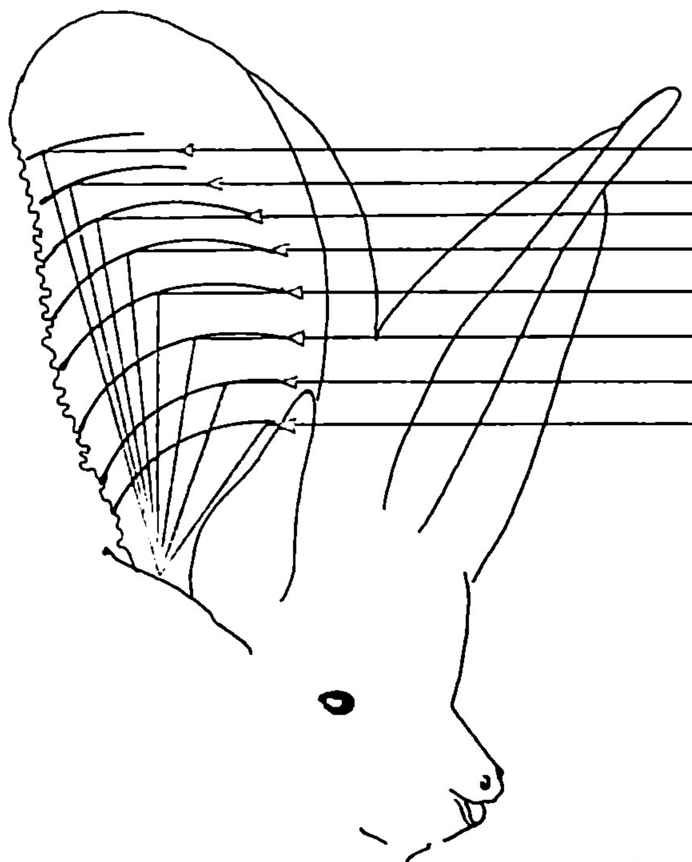
Ezt a szellemes elméletet még kevés kísérlet támasztja alá, de K. D. Roeder vizsgálatai nyomán már bizonyos, hogy a denevér „látja", sőt még a szárnycsapásait is érzékeli például egy apró éjjeli lep-

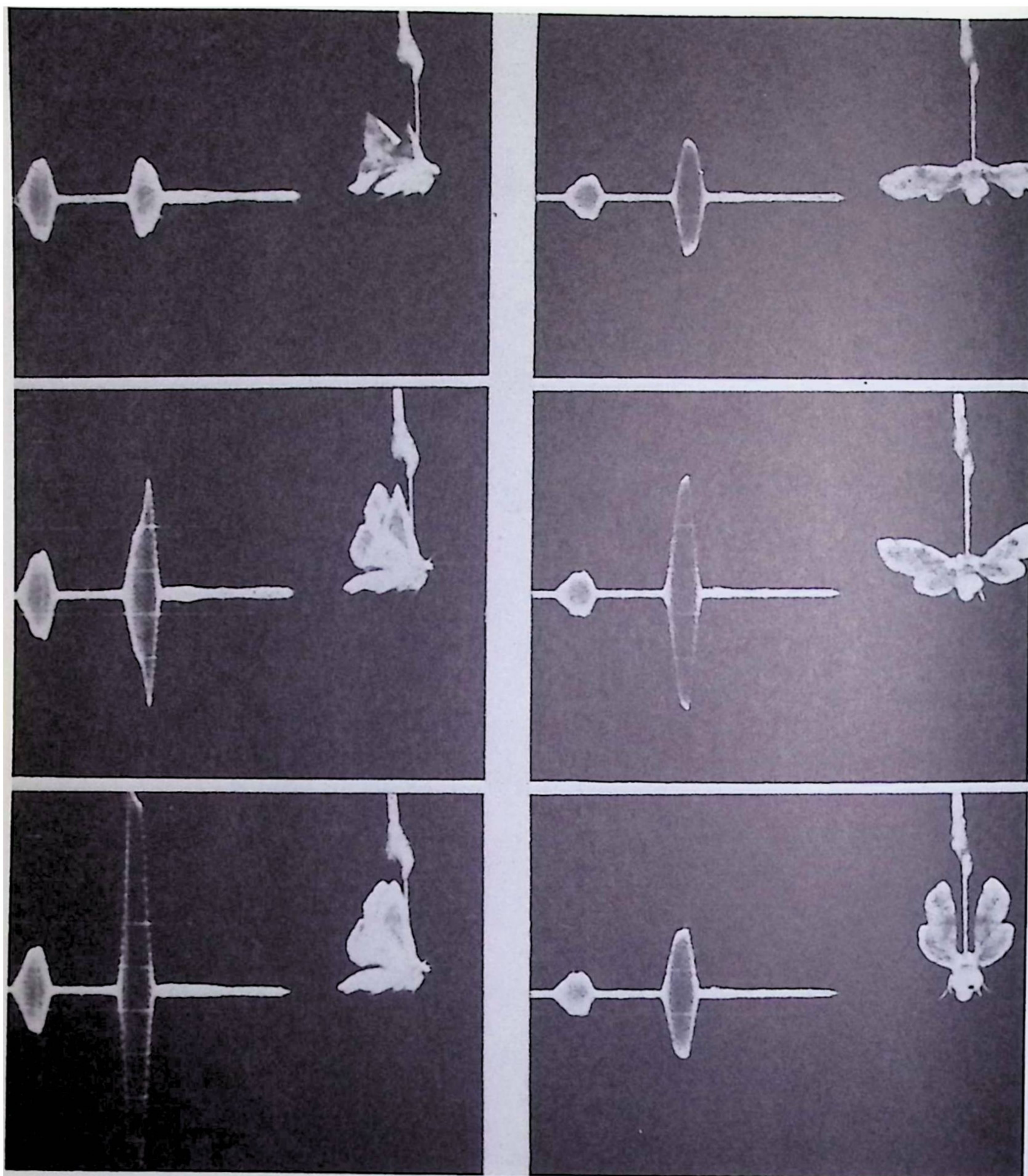


A hosszúfülű denevérek fülében furcsa redők találhatók. A legújabb vizsgálatok szerint ezek is a denevérlokátor érzékenységét növelik. Mindegyikük parányi hangtükörként tereli a dobhártya felé a kiáltásból visszaérkező gyenge ultrahangsugarakat



A denevér fülkagylójának hallótere nem egyenletesen érzékeny. Ha a tölcsér 30 fokos szögben áll a test tengelyéhez képest, érzékenysége nagyjából a középponttól a széle felé csökken. Ezeket a tartományokat az egyre sötétebb sávok jelzik (fent). Ha a denevér testéhez szorítja fülét, kitágulnak az érzékenységi sávok. Ilyenkor a „vadász" még csak a gyenge visszhangokat veszi észre, de nem ismeri fel irányukat (lent)





Valószínűleg így „látja" képhallásával a denevér az éjjeli lepkét! Minden képkockán három fotó van összemásolva. Balra a mesterséges denevérkiáltás jele, középen a visszhang (amelyet a denevér hall), jobbra a verdeső rovar látható. A visszhangok oszcilloszkópos képe megdöbbentően érzékelteti, hogy a denevér még a menekülő lepke szárnycsapásait is hallja. A bal oldali oszlopban a rovar keresztirányban, a jobb oldaliban párhuzamosan repül a denevérrel

kének, a visszaverődő hangjelek alapján. A gyanútlan áldozat akkor van a legnagyobb bajban, amikor éppen merőlegesen keresztezi a denevér útvonalát. Ilyenkor körülbelül százszor erősebben verődnek vissza róla az ultrahangkiáltások, mint közeledő vagy távolodó repülésekor. Hogy a denevér képlátása milyen a valóságban, erre talán csak akkor kapunk végleges választ, ha lokátoruk minden részletét megismerve, hasonlót sikerül szerkeszteni.

Áruló jelek a vízen

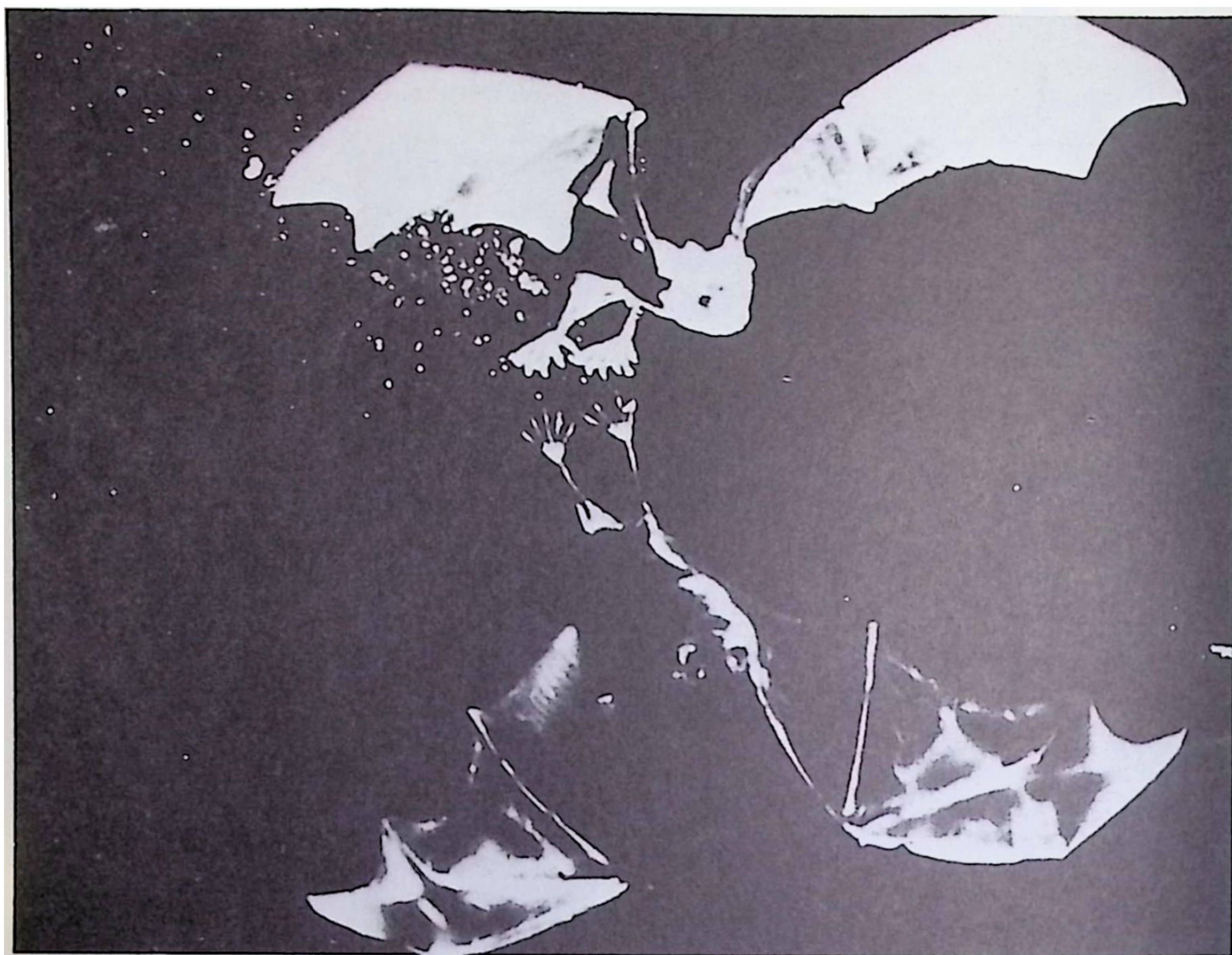
A halászó denevérfélék családja nem rovarokkal táplálkozik, hanem halakkal. Amióta a kutatók felfigyeltek az eleven lokátorokra, kétségtelennek látszott, hogy a halászó denevérek is ultrahangokkal kutatják fel táplálékukat. De éppen ez okozott újabb fejtörést. Hiszen a fizikusok régóta tudják, hogy a levegő és a víz határfelülete tükörként veri vissza a hanghullámokat. Így a denevér ultrahangos kiáltásainak csak 0,001 része jut a víz alá, és ugyanennyivel gyengül a visszaverődő hang is, ha ismét kilép a levegőbe. Ezenkívül a csábító falatok, a halak, hangtani szempontból átlátszók, s csak úszóhólyagjuk tükrözi vissza gyengén az ultrahangsugarakat. A denevér tehát akármennyire erősen kiált, ennek az enegiának legfeljebb egymilliomod része érkezhet vissza fülébe. „Úgy látszik, rendkívül érzékeny lokátoruk van a halászó denevéreknek" – ezzel a megállapítással könyvelték el a kutatók ezt az állatcsaládot.

R. A. Suthers amerikai biológus azonban nem nyugodott bele a bizonytalan magyarázatba. Elhatározta, hogy utánajár az ügynek. Laboratóriumi vizsgálataiban vízmedence felett röptette kísérleti állatait, s először azt derítette fel, milyen a nyúlszájú halászódenevér lokátora. A mérések szerint bebizonyosodott, hogy ez az állatfaj nem rendelkezik kiválóbb képességekkel, mint a többi fajok. Keresés közben a denevérek másodpercenként 10–20 kutató-impulzust bocsátottak ki, amelyek rezgésszáma kb. 60 000 Hz volt. Ha 0,1 mm átmérőjű huzalokat feszítettek ki, elég bizonytalan pontossággal repültek át a hálón.

A meglepetés akkor következett, amikor a kutató arra szoktatta a denevéreket, hogy vízbe helyezett haldarabokra vadásszanak. A kísérleti állatok könnyedén megtalálták a „csalikat", ha legalább 1–2 mm magasan kiálltak a vízből. Amikor azonban a falatok néhány milliméterrel a vízszint alatt rejtőztek, egyet sem tudtak felfedezni!

Suthers és munkatársai ekkor arra gondoltak, hátha a halak úszóhólyagjáról visszaverődő impulzusokat figyelik a denevérek. Apró léggömbökhöz erősítették a húsdarabokat, és a ballonokat 1–2 mm-rel a vízfelszín alá helyezték. A kísérleti állatok azonban éhkoppon maradtak, és tehetetlenül kóvályogtak a vízmedence fölött. Egyetlen falatot sem sikerült felfedezniük. Mikor azonban a léggömbök csak pár milliméterrel a víz fölé nyúltak, azonnal lecsaptak rájuk.

Ezzel tehát megoldódott a kérdés. A nyúlszájú halászódenevérek és nyilván a család többi tagja is, csak a vízfelszínt „seprik" végig lokátorukkal. Amikor Suthers apró szökőkutat állított a víz alá, és a csőből kiáramló víz kissé kidomborította a vízfelszínt, a denevérek zsákmányra éhesen repültek oda azonnal. Lokátoruk érzékenységére jellemző, hogy ha a vízből 1 mm magasan kiemelkedve 0,2 mm vékony huzaldarab jelezte a víz alatt rejtőző haldarabot, habozás nélkül lecsaptak rá. „Képlátásuk" annyira ki-



Tükörként veri vissza a halászó denevér képét a víz. Sokáig azt hitték a kutatók, hogy lokátora különösen érzékeny, mert a víz alatt is felderíti a halakat. R. A. Suthers vizsgálatai azonban bebizonyították, hogy lokátoruk csak akkor jelez, ha a hal mozgása hullámokat kelt a vízfelszínen

tűnő, hogy 0,4 mm-es vastagságkülönbséget is észrevesznek. Az egyik kísérletsorozatban gyorsan megtanulták, hogy a vízből elszórtan kiálló 0,9 mm-es huzalok nem rejtenek semmit, csak az 1,3 mm vastag huzaldarab tövében találnak élelmet a víz alatt. Akárhányszor átrendezték a kutatók az 5 mm magasan kiálló huzaldarabokat, a denevérek mindannyiszor megtalálták köztük az egyetlen 1,3 mm-es jelzőhuzalt.

Ha lokátorukkal bemérték már a víz alól felbukkanó halat, figyelmüket annyira összpontosították, hogy sokszor csak az utolsó pillanatban vették észre, ha valamelyik társuk szintén lecsapott az áldozatra. Alig tudták elkerülni a légi karambolt. Egyszerűen nem vették figyelembe az összeütközést jelző visszhangokat. A kutatók régóta gyanítják, hogy egy zsúfolt barlangban sem sokat törődnek lokátorukkal a denevérek. Ilyenkor hangos „csipogásuk" szinte betölti az egész üreget, és nemcsak egymás kiáltásait zavarják, hanem az érdes falakról visszaverődő hangok is teljesen szétszóródnak. Lehet, hogy ilyenkor a denevérek nem is figyelnek lokátoruk jelzéseire?

Igen! Bebizonyosodott, hogy emlékezetből tájékozódnak. Lakóhelyük barlangjának minden kiszögellését olyan jól ismerik már, hogy ügyet sem vetnek szonárjuk jelzéseire. D. R. Griffin ezt a magatartást „Andrea Doria-jelenségnek" nevezte el. Az óriás óceánjáró hajó olyan nyugodtan és biztosan haladt megszokott útvonalán a hagyományos navigációs eszközök segítségével, hogy még a lokátort sem figyelték. Senki sem gondolt rá, hogy egy eltévedt hajó beléjük futhat. Így következett be a váratlan összeütközés Nantucket szigetének közelében, és az óriás hajó roncsa azóta is ott hever a hullámsírban.

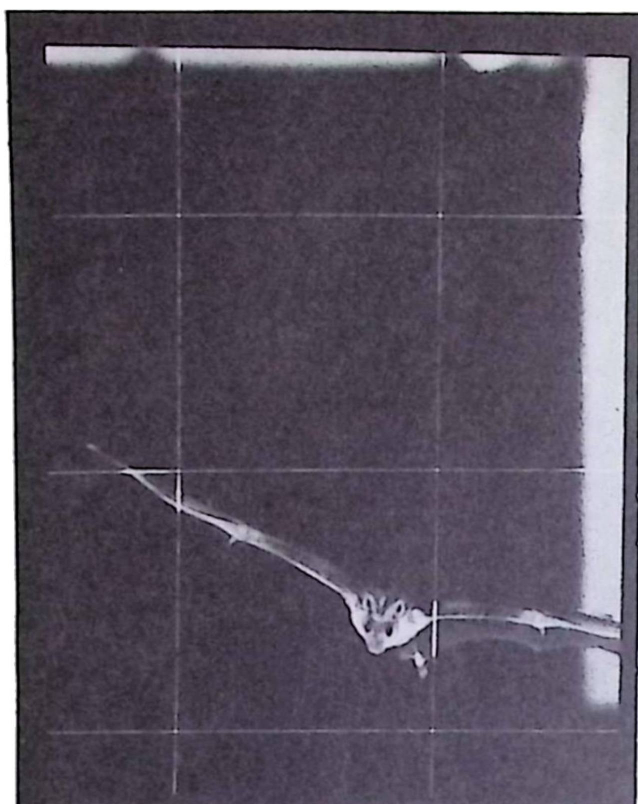
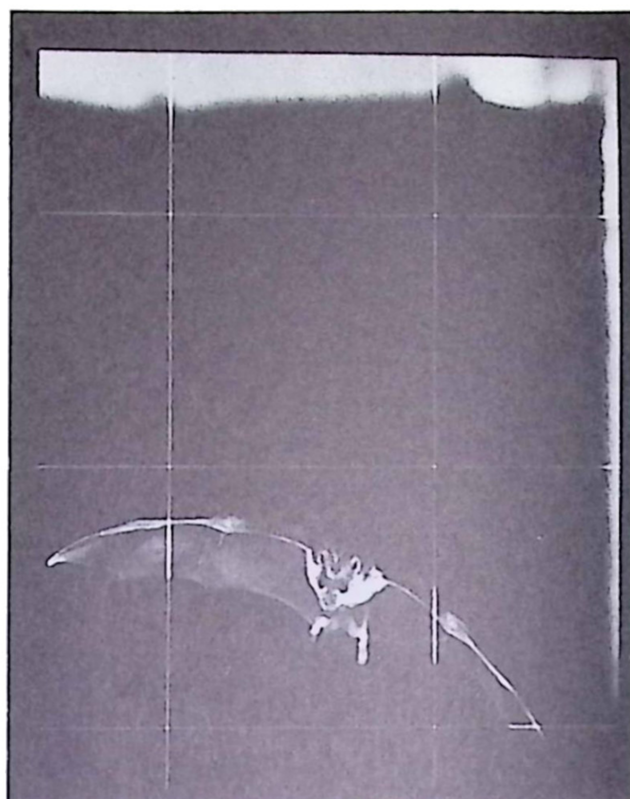
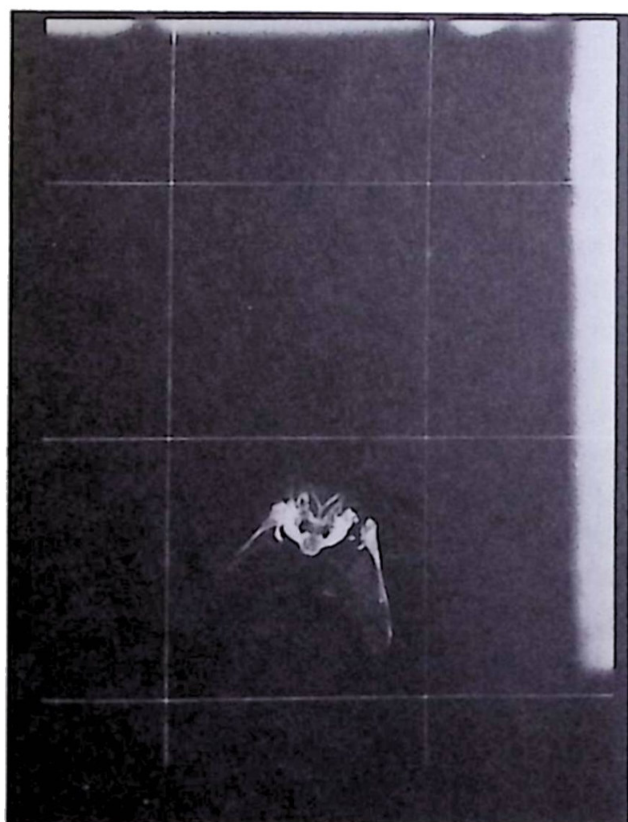
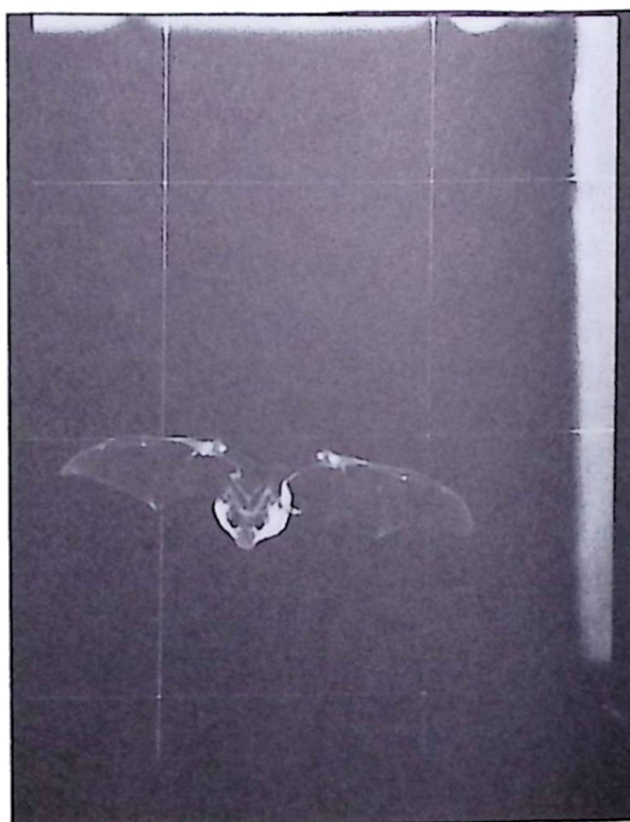
A denevérek tehát úgy röpködnek a számukra ismerős környezetben, mintha valaki behunyt szemmel menne végig otthonában, anélkül hogy beleütközne valamelyik bútorba. Ezt az elképzelést A. D. Grinnel és munkatársai egy különös akadályverseny során kísérletileg is igazolták. 70 négyzetből álló huzalhálózaton át röptettek tátott szájú denevéreket. A kísérleti állatok nem összevissza repültek át a nyílásokon. Csak egy bizonyos négyzeten át az etetőig, és egy másikon vissza. Ha egy nap alatt harmincszor kellett repülniük, mindannyiszor ugyanazt a két nyílást választották. Eszerint a denevérek téremlékezete kitűnő.

Egy másik kísérletben egy 42 cm széles ablakot vékony huzallal két részre osztottak 18 és 24 cm arányban. Lokátoruk segítségével a denevérek pontosan betájolták a huzal helyét, így mindig összehúzott szárnyakkal siklottak át a keskeny ablakrések között. Ekkor a kutatók eltávolították a huzalt, és helyébe láthatatlan „fényhuzalt" feszítettek. Ez lényegében olyan fotocellás érzékelő, amelyet gyakran az ajtók elé szerelnek. Ha valaki az ajtó elé lép, megszakítja a fénysugarat, a fényforrással szemben a fotocellában villamos jel keletkezik, ez vezérli azután a nyitószerkezetet. Ilyen módon a kutatók könnyen tudomást szerezhettek arról, hogy a denevér mikor „szakította meg" a fénysugarat.

Ekkor következett a meglepetés. Hiába távolították el a valódi huzalt, hogy a denevérek tetszés szerint repüljenek át az ablakon. Továbbra is összehúzott szárnyakkal siklottak át rajta, anélkül hogy a fénysugár útját megszakították volna. Tehát pontosan úgy viselkedtek, mintha a huzal még mindig útjukat állná. Holott lokátoruk biztosan jelezte számukra, hogy már nincs akadály. De nem vették figyelembe a visszhangokat, emlékezetből repültek!

Ez a magyarázata annak is, hogy egy kivágott fa helyén néha napokig röpködnek a denevérek, rovarokat keresve. Egyszerűen nem veszik tudomásul, hogy a fa már nincs ott. Ha ismeretlen környezetbe kerül az állat, lehetőleg nem repül. Egy nyugodt sarokban függeszkedve előbb gondosan tájékozódik ultrahangjaival, csak azután kerekedik fel. Így később könnyen összpontosítja figyelmét az elé kerülő rovarokra: az ismerős környezetben „behunyt füllel" is tájékozódik.

Ezzel persze újabb kérdések vetődnek fel. Ha nem használja lokátorát az állat, hogyan képes emlékezni a „megfoghatatlan" térre? Még síkban sem könnyű tájékozódni behunyt szemmel, hát még térben. Lehet, hogy az állat ilyenkor más visszhangokra figyel? Nem valószínű, hiszen a hallásvizsgálatok alapján tudjuk, hogy a denevérek fülének rezgésérzékelő sejtjei a 30–70 000 Hz-es ultrahangokra a legérzékenyebbek, legalábbis az egérfülű denevéreken végzett mérések ezt mutatták. Tehát a köznapi hangok, amelyeket mi hallunk, számukra nem sokat jelenthetnek. Talán egyensúlyérzékük és szárnycsapásaik száma tájékoztatja őket

Hamar megtanulja a sötétben repülő denevér, hogy melyik négyzethálón át jut a legkönnyebben a laboratórium túlsó felében álló etetőhöz. A felvételsorozatban a harmadik fotón bújik át éppen az „ablakon". Ha később eltávolítják a huzalhálót, akkor is „kedvenc" négyzetén repül át, pedig lokátora már jelzi, hogy nincs akadály. Ilyenkor nyilván emlékezetből repül

térbeli helyzetükről? Ez a kérdés még eléggé tisztázatlan, s csak a jövő kutatásai adhatnak rá végleges választ.

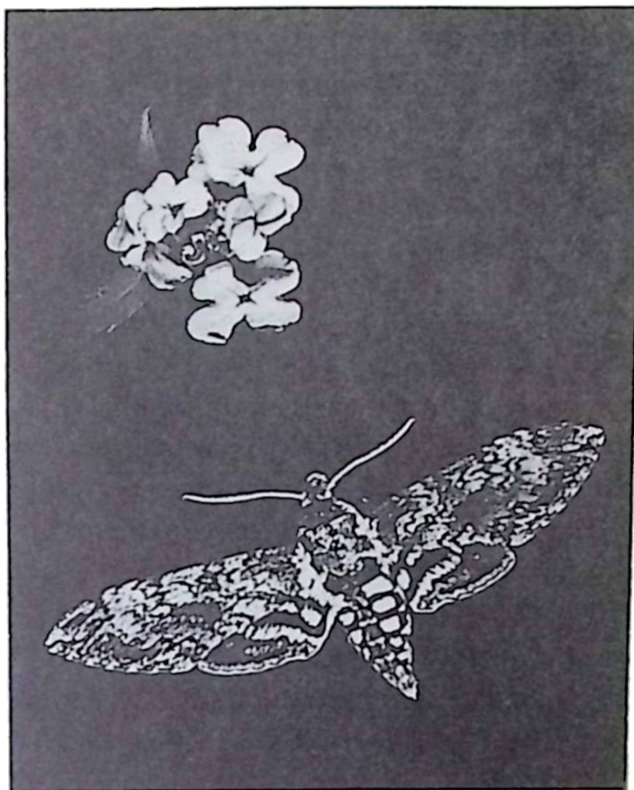
A lepkék légvédelmi rendszere

A denevérlokátor használhatóságát mi sem bizonyítja jobban, mint az a kísérlet, amelynek során Griffin laboratóriumában egy 7 gramm súlyú kis denevér egy óra alatt 1 gramm mennyiségű szúnyogot vadászott össze. Igazán szép teljesítmény, minthogy egy szúnyog súlya kb. 0,002 gramm! De még meglepőbb volt az a parányi denevér, amely negyedórai vadászat után 3,5 g súlyához 10 százalékot „hízott" hozzá, vagyis legalább 175 szúnyogot kapott el. Lokátorával keresgélve a vaksötétben, átlagosan 6 másodpercenként csípett el egy rovart.

De mit csinálnak ezalatt az „üldözöttek"? Ölbe tett kézzel várják, hogy elfogja őket a denevér? A rovarok és a denevérek párviadalában eddig a tudomány csak a denevérek harci módszereit kutatta, pedig a rovarok is szolgálhatnak még néhány meglepetéssel. Legalábbis erre következtethetünk két amerikai kutató, A. E. Treat és K. D. Roeder vizsgálataiból, akik fényt derítettek az éjjeli lepkék különös légvédelmi rendszerére.

A molyok, éjjeli lepkék a „derekukhoz" közel, a torukon viselik fülüket, vagyis azt az érzékeny hallószervet, amely villamos jelekké alakítja a hangrezgéseket. A törpe hallóberendezés vallatása nem volt könnyű feladat a kutatók számára. Finom ezüstelektródokat szúrtak az érzősejtek idegszálaiba, így vezették el a gyenge áramokat. Egy tv-készülékhez hasonló berendezéssel azután láthatóvá tették ezeket a jeleket.

Meg voltak győződve, hogy a denevér



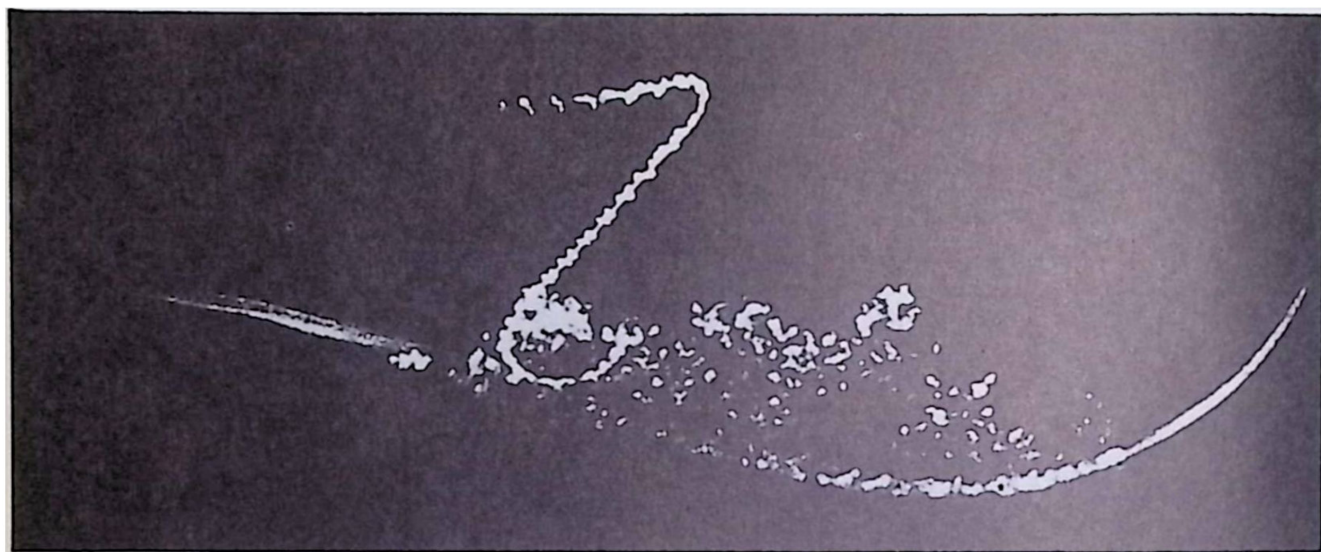
Teljes pompájában közelít egy nyíló virághoz a szenderlepke. Bozontos teste és szárnya úgy nyeli el a denevér ultrahangjeleit, mint a bársonyfüggöny a kiáltásokat. A rovar érzékeny füle is a „légelhárítás" szolgálatában áll: könnyen felfogja a legnagyobb rezgésszámú ultrahangokat is, amelyek a denevér közeledtét jelzik

leendő áldozatának hallania kell az ultrahangokat. Különböző ultrahangimpulzusokkal ingerelték a hallószervet, s a villamos „válaszok" valóban érdekes képet mutattak. Minél erősebb volt a hang, az érzősejtek annál szaporábban küldték riasztó jelzéseiket a hallószervből a rovar agydúcába. Ha ezeket a jeleket hangszóróra vezették, egyre magasabb hang hallatszott.

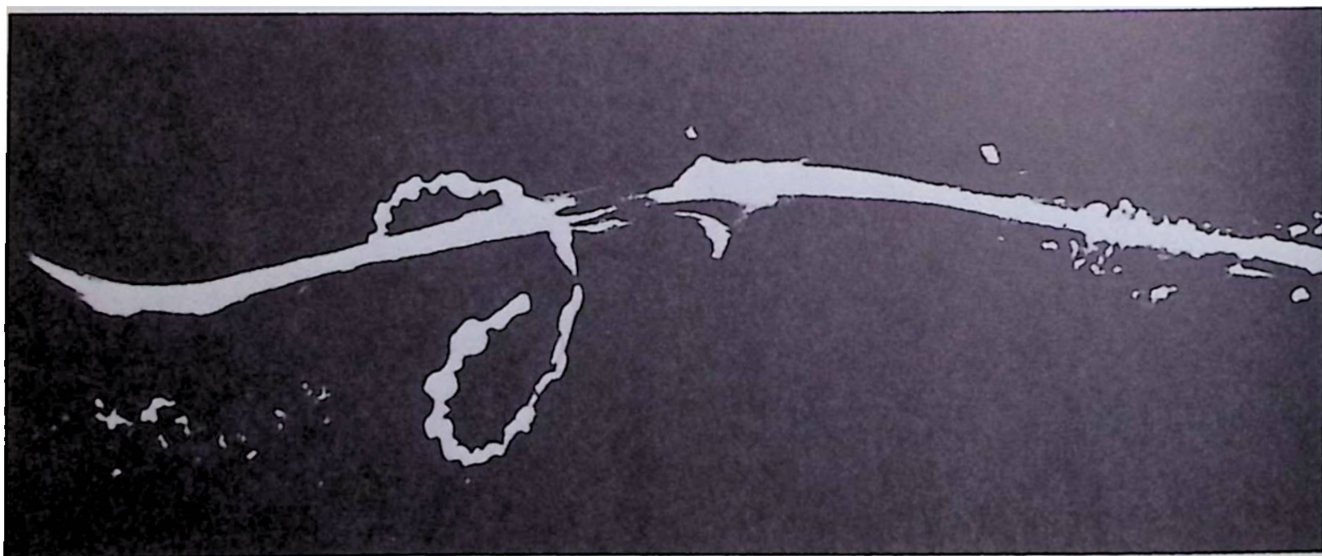
Újabb kísérletsorozattal megállapították, hogy az éjjeli lepkék hallószerve 3000 Hz-től 150 000 Hz-ig fogja fel a hangokat, tehát a parányi molylepke számára egy zongora meglehetősen szegényes hangszer. De a denevér ultrahangjait könnyen meghallja, mert ezeknél a

rezgésszámoknál jóval magasabb hangokra is érzékeny.

A laboratóriumi kísérletek után a kutatók egy elkábított lepkével és elektronikus készülékekkel felszerelve kivonultak a szabadba. Denevérekkel zsúfolt, régi csűrt kerestek, és ettől 180 méter távolságban helyezkedtek el. A lepkét úgy fektették, hogy hallószerve a csűr irányába forduljon. Megfigyelőhelyüket 6 méteres körzetben kivilágították, hogy megpillanthassák a közeledő denevéreket. Csendben vártak, amikor az életveszélyt érző lepke alaposan megtréfálta őket. Még semmit sem láttak, de a lepke már jelezte a denevérek érkezését. A mérések szerint 30–36 méter távolságból vette észre a denevér lokátorjeleit.



Most még sikerült a menekülés a jobbról érkező denevér elől, amely vastag csíkot húzott a megvilágított terület fényében a negatívon. Az éjjeli rovar horog alakú útvonala az utolsó pillanatban felkunkorodik, így tért ki üldözője elől

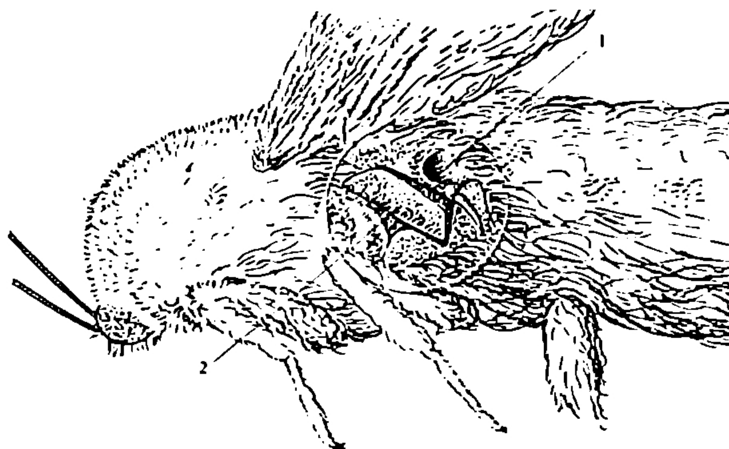


Drámai pillanat a sötétben. A denevér kiáltásait hallva, a rémült éjjeli lepke hurok alakban felfelé, majd hátrafelé repül. De a denevér lokátora pontosan működik. A két nyomvonal találkozik, és a rovar eltűnik...

Ezután következett a kísérletek legérdekesebb része. A rovar mindkét hallószervéről egyszerre vezették el a közeledő denevér kiáltásainak villamos jeleit, és sztereo magnóval rögzítették az impulzusokat. Kiderült, hogy a rovar három dimenzióban hallja a denevér közeledtét. Amelyik oldalról erősebb ultrahangok érik hallószervét, ott érzősejtjei is szaporább villamos jelekkel válaszolnak.

Képzeljük el, milyen különös érzés a hallóidegek válaszát hallgatni egy sztereo fülhallgatóval. Mintha az ember a rémült rovar idegrendszerében ülne, és figyelné a denevér közeledtét. Pontosan hallható, amint a félelmetes vadász egyik oldalról a másikra repül, majd szembefordulva közelít! Ez a különös érzéki csalódás onnan ered, hogy az idegimpulzusok rezgésszáma annál magasabb, minél erősebb a denevérkiáltás. Így az ember önkéntelenül hozzáképzeli a hangforrás távolságát is. Ha a denevér közeledik, az ultrahang erősödésével az érzősejtek villamos jelei szaporábbá válnak. A rezgésszám úgy szökik fel, mint egy sikoltás.

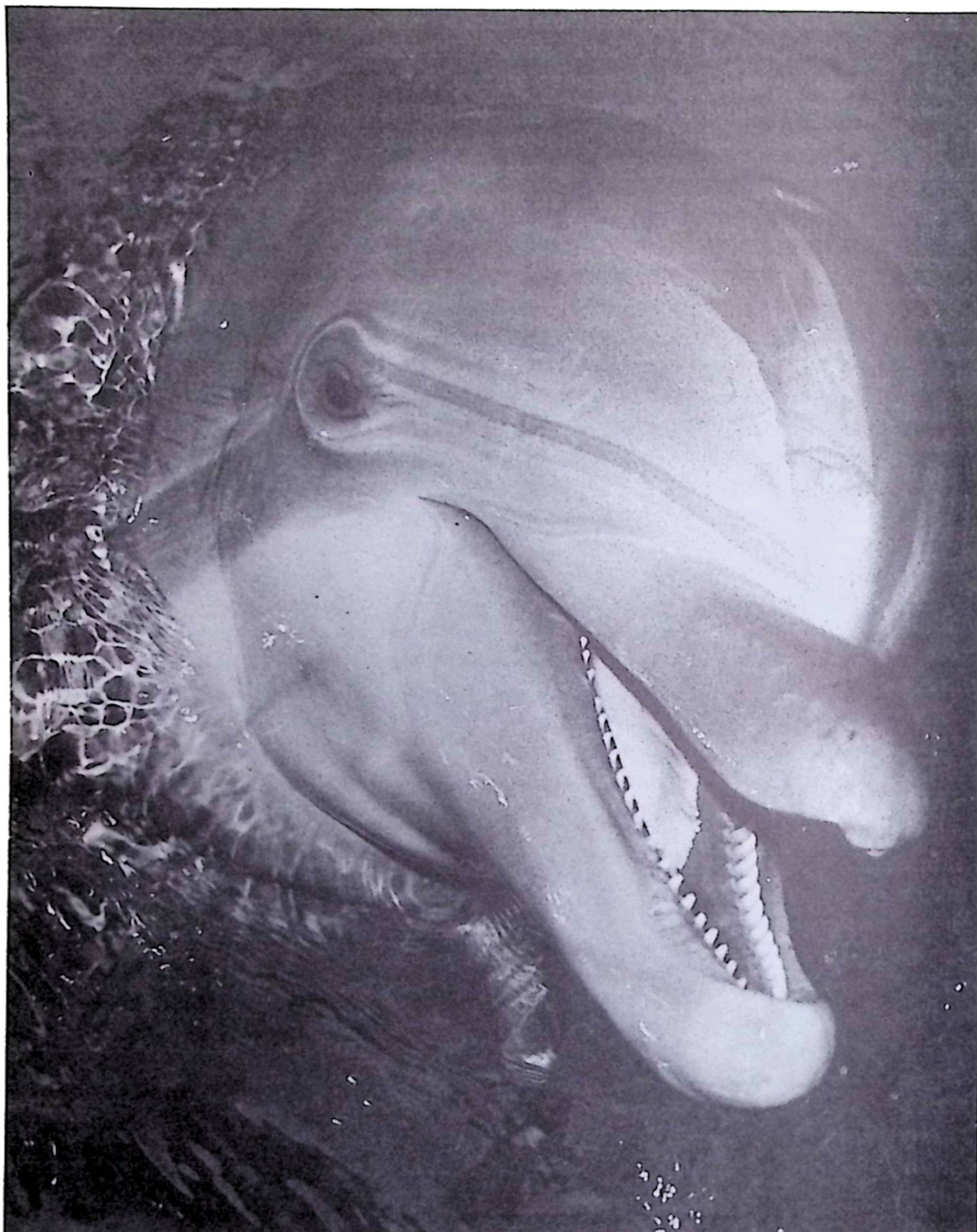
A két kutató azt is megvizsgálta, hogyan viselkednek az éjjeli lepkék a szabadban, ha meghallják a denevér ultrahangkiáltását. Egy magas rúd tetejére ultrahangsugárzót helyeztek, s ezt akkor kapcsolták be mindig, amikor éjjeli lepke közeledett a lámpával megvilágított rúd felé. A fényképfelvételek alapján kiderült, hogy a rovarok kétféleképpen menekülnek a denevér elől. Ha elég távolról hallják meg a félelmetes jeleket, hirtelen megváltoztatják útirányukat, és a lehető leggyorsabban igyekeznek elhagyni a veszélyes légteret. Ha viszont túl közelről jönnek a jelek, és nincs idő visszafordulásra, szárnyaikat összekapják, és zuhanórepülésben igyekeznek eltűnni a fűben. Csak akkor kapnak szárnyra, ha elmúlt a légiveszély.



A medvelepkék nem rémülnek meg egykönnyen a vadászó denevér kiáltásaitól. Ahogyan a második világháborúban a repülőgépekről leszórt sztaniolcsíkok hatástalanná tették a felderítő radarokat, ugyanígy ezeknek a rovaroknak a vastag bundája is szinte teljesen elnyeli az ultrahangokat. Ha mégis veszélyesre fordul a helyzet, éles kattanásokkal adnak figyelmeztető jelzést (1: hallóüreg, 2; hangképző szerv)

David Blest és David Pye angol kutatók a medvelepkék bozontos családjának számos tagján „ellenlokátort" is felfedeztek! Az éjjeli rovarok, úgy látszik, nem elégednek meg azzal, hogy vastag bundájuk csaknem teljesen szétszórja a denevérek ultrahangsugarait, és így gyenge jelek verődnek vissza róluk. Egyes fajok harmadik pár lábukat gyorsan összehúzva, majd kinyújtva, fésűszerű hangképző szervükkel kb. 1000 Hz-es kattanásokat hallatnak. Ezekben a hangokban magas rezgésszámú ultrahangok is vannak. Mire jók ezek a különös kattanások?

Dorothy C. Dunning angol kutató szelídített denevéreken vizsgálta e jelzések hatását. Magnetofonra vette egy medvelepke hangját, és a készüléket mindig akkor kapcsolta be, amikor a denevér éppen egy feltűzött házi lisztbogarat készült röptében elkapni. A medvelepke kiáltásai a legtöbb esetben hirtelen irányváltoztatásra késztették az állatot. A rovar „kattanásai" tehát valamiféle „felségjelként" szolgálnak, amit a denevér tiszteletben tart.



Kidugja fejét a vízből, és nevet. A delfinek vidám népe olyan tökéletes lokátort használ, amelyet napjainkban is élénk érdeklődéssel tanulmányoznak a kutatók. Ultrahangos kiáltásaik a víz alatt hallhatatlanok az emberi fül számára. Még ma is rejtély, hogy a delfinek négylábú ősei a törzsfejlődés folyamán miért tértek vissza a vízbe kb. 50 millió évvel ezelőtt

KIÁLTÁS A VÍZ ALATT

Arión, a görög lantos-énekes és költő egész Itáliát elbűvölte gyönyörű dalaival, így gazdag ajándékokkal megrakottan hajózhatott haza Korinthoszba. A hajó matrózai mit sem törődtek azzal, hogy egy álmodozó költőt visznek a fedélzeten, de annál figyelmesebben vették szemügyre kincseit. És döntöttek. Ariónt örökre elnémítják, a zsákmánnyal pedig elvitorláznak. Amikor a költő rájött szándékukra, minden vagyonát felajánlotta, hogy megkíméljék életét. A gazfickók azonban mindenképpen meg akartak szabadulni a veszélyes szemtanútól, ezért csak annyi engedményt tettek, hogy választhat: önként a tengerbe veti magát, vagy ők ölik meg, és holttestét eltemetik.

Arión a tengert választotta. De még utoljára elővette lantját, és legszebb énekével mondott búcsút a földi életnek. Azután megadóan a vízbe vetette magát. De csodák-csodájára nem merült el. Egy játékos delfincsapat vette körül, amelyet valószínűleg a különös hangok csaltak a közelbe. Az állatok hátukra vették Ariónt, és a Tainaron-fokig vitték. A csodás menekülés emlékére a meghatott költő nemsokára bronzból készült delfinszobrot állíttatott a parthoz közeli templom szentélyébe.

Arión különös megmenekülésének történetét Hérodotosz, a görög történetírás atyja jegyezte fel, s azóta is számtalan változatban dolgozták fel témáját írók, költők, festők és szobrászok. Csak éppen senki sem vette komolyan. Pedig az utóbbi évtizedek kutatásainak fényében egyre elképzelhetőbbnek tűnik a történet. A delfinek valóban közös erővel segítik megsebesült társukat a felszínre, ugyanezzel az ösztönnel sietnek a fuldokló ember segítségére is. Erről számtalan érdekes esetet jegyeztek már fel.

A delfinnek nem nehéz megtalálnia egy vízbe merült embert, hiszen olyan találmánnyal rendelkezik, amelynek hasonmása csak az utóbbi évtizedekben terjedt el a hajózásban: ultrahangos lokátora van! Ugyanolyan hallhatatlan kiáltásokkal tájékozódik és vadászik, mint a denevérek. Csak sokkal nehezebb a dolga, mert kibocsátott ultrahangjelei csaknem ötször olyan gyorsan érnek vissza füléhez, mint ugyanolyan távolságból egy denevérhez.

De a vizsgálatok szerint a delfinek könnyedén használják lokátorukat, és egyáltalán nem jönnek zavarba, ha a zavarosban kell halászni. Még iszapos, sötét vízben is megtalálják legfőbb táplálékukat, a kisebb halakat. 1700 gramm súlyú agyuk, amely az ember agyvelejénél is nehezebb, tökéletes miniatűr elektronikus számítógéphez hasonlóan dolgozza fel az ultrahanglokátor jelentéseit. Rendkívüli intelligenciájuk is ennek a szédítően bonyolult „sejtkapcsolási hálózatnak" köszönhető.

1912-ben, a *Titanic* óceánjáró borzalmas katasztrófája után Hiram Maxim angol mérnök (a Maxim-géppuska feltalálója) azt javasolta, hogy a hajókra olyan lokátort szereljenek, amely a visszaverődő hangok segítségével jelzi a víz

alatti akadályokat. Az ötlet egyszerű volt, hiszen nyilvánvaló, hogy minél hamarabb érnek vissza a kisugárzott hangok, annál közelebb van a tengerfenék vagy a közeledő jéghegy. Maxim csak abban tévedett, hogy mindössze 15 Hz-es infrahangot javasolt a felderítésre. Ezek csak 150 méternél nagyobb kiterjedésű tárgyakról verődnek vissza, túl kicsi a „felbontóképességük", vagyis nem különböztetnek meg kisebb részleteket. A delfinek az elmúlt évmilliók alatt szükségszerűen megtalálták a helyes megoldást. Olyan szonárt használnak, melynek felderítő ultrahangja 256 000 Hz-et is elérhet.

Vadászatra indul a delfin

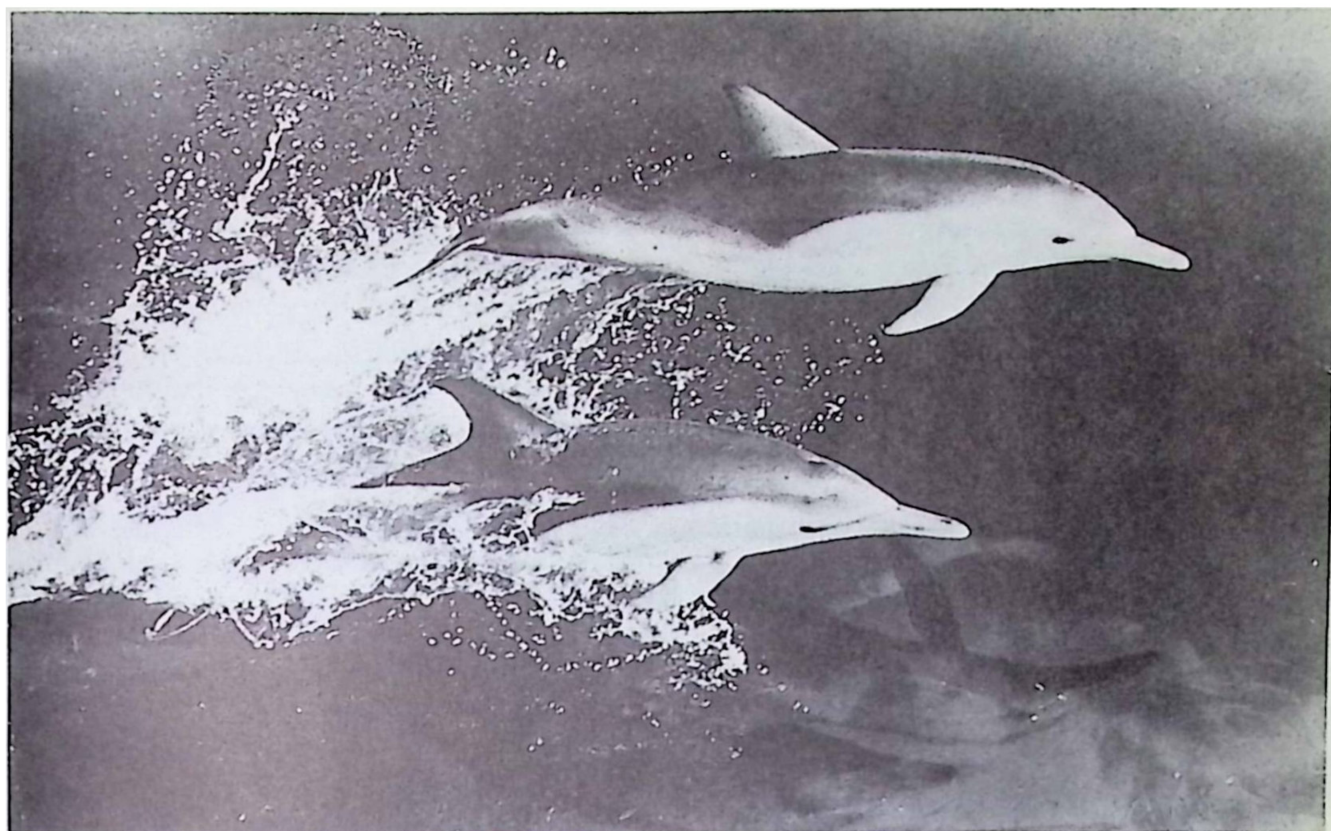
A delfinek víz alatti felderítő módszere iránt két amerikai kutató, W. Shevill és B. Lawrence kezdett először behatóbban érdeklődni. Egy kis tóban éjjel felkavarták az iszapot, hogy a szelídített delfin semmiképp se használhassa látását a tájékozódásban, majd csónakjukról haldarabokat lógattak a vízbe. A kísérleti állat habozás nélkül megtalálta az élelmet. Ezután 2,4 méter hosszú hálót feszítettek ki a csónak oldalára merőlegesen, és hol a csónak elejénél, hol a végénél dugták a vízbe a haldarabot, egyszer a háló előtt, egyszer meg mögötte.

A delfin most sem tévedett, holott a csónaktól legalább 2,4 méterre kellett eldöntenie, hogy a háló melyik felén úszik a táplálékhoz. A későbbi vizsgálatok kimutatták, hogy 10–15 cm hosszú halakat már 10 méter távolságból is felismer, és egy kísérleti medencében játszva úszkál 2 cm átmérőjű rudak között. Kenneth Norris egyik kísérlete a delfinnek még azt a finom megkülönböztető-képességét is kimutatta, hogy ha választania kellett egy 4 cm hosszú, apró kövekkel töltött műanyag cső és egy 4 cm hosszú hal között, sohasem a csövet kapta be.

A delfinek hangját még Yma Sumac, a világhírű perui énekesnő is megirigyelhette volna, pedig ő állítólag három oktáv hangterjedelemben énekelt. A kecses víziállatok „éneke" – kibocsátott hangjaik rezgésszáma – a legmélyebb emberi basszus hangtól messze felfuthat a hallhatatlan hangok tartományába. Ezen belül általában három hangcsoport különböztethető meg. A „füttyök" 4000–20 000 Hz között hallhatók. A „csattanások" rezgésszáma 170 000 Hz-et is elérhet, így számunkra nem érzékelhető. Minden valószínűség szerint ezek a rövid impulzusok a felderítő hangsugarak. A harmadik csoport „hápogó" jeleiben olyan bonyolultan változó rezgésszámú és erősségű hangok olvadnak egybe, hogy ezekből tetszés szerint alakulhat ki krákogás, nyávogás, ugatás, vonítás, sóhajtás vagy nyögés. Ezek a hangok feltehetően a delfinek egymás közötti „beszélgetésében" használatosak.

A kiáltások hossza általában 0,1–1 ezredmásodperc. Egy kaliforniai biológus, J. J. Dreher alapos képet akart kapni ezekről az impulzusokról, ezért különböző fajok lokációs hangjait rögzítette magnetofonszalagra. Így derült ki, hogy a közönséges delfin 0,25–0,50 ezredmásodperces hangokkal tájékozódik, ami olyan rövid csattanás, hogy a 9,5 cm/mp-es sebességű magnószalagon a hangnak ez a darabkája mindössze 23,75–47,5 ezredmilliméter hosszú. A gömbölyű fejű delfin kétféle lokátorhangja közül viszont a hosszabbak 9,6–17,5 ezredmásodpercig is tarthatnak. A mérések szerint a jól ismert palackorrú delfinek kb. 0,7 ezredmásodperces hangokkal tájékozódnak.

V. M. Belkovics és J. I. Nyesztyerenko szovjet kutatók szerint a delfinek kiáltásainak hangereje általában attól függ,

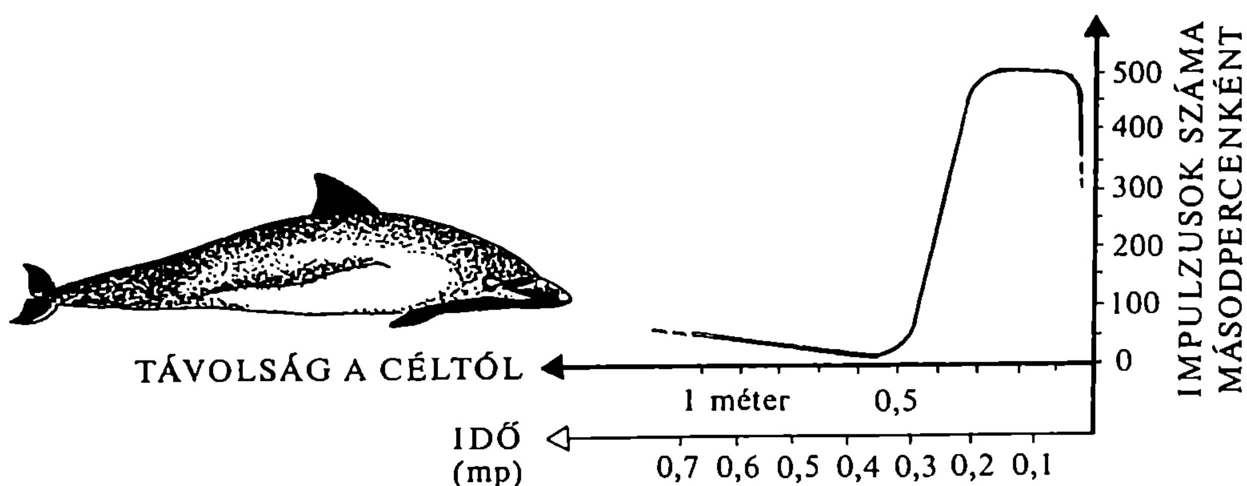


Ruhásszekrény nagyságú elektronikus számítógép tudná csak utánozni a delfin agyának működését, amikor ultrahangos lokátorával tájékozódik. Ma sem ismerjük pontosan a bonyolult eleven szerkezet minden részletét. Annyi bizonyos, hogy a vadászó delfin az üldözőbe vett halhoz közeledve, a denevérekhez hasonlóan szaporítja hallhatatlan füttyjeleit

hogy milyen magas hangot használnak. Legerősebb lokátorjeleik a 20–60 000 Hz-es tartományban mérhetők, s noha ezek a hangok számunkra hallhatatlanok, olyan erős lökéseket keltenek a vízben, mintha motorkerékpár berregése verné fel egy utca csendjét.

Egy másik szovjet kutatóval együtt Belkovics azt is kinyomozta, hogy a palackorrú delfin egy víz alatti mikrofonnal felszerelt laboratóriumi medencében milyen gyakorisággal bocsátja ki felderítő ultrahangjait. A kísérletek során a tétlenül kalandozó delfin általában 10–50 jelet sugárzott másodpercenként. Ez nyilván a „nyugalom" szakasza volt. Amikor azonban kb. 40 cm-re közelítette meg a vízben zsinóron függő csalihalat, impulzusainak száma viharos gyorsasággal kezdett növekedni. Jóllehet az események drámai pergésében csak 0,25 másodperc választotta el zsákmányától, amint ezt a gyorsfelvevő kamerák filmkockáiról megállapították, impulzusainak másodpercenkénti száma ezalatt 50-ről hirtelen 200-ra szökött (sőt egyes esetekben a másodpercenkénti 500-at is elérte), majd a cél előtti centimétereken 250-re esett vissza.

Meglepő a hasonlóság! A delfinek lokátora a vadászat során csaknem pontosan úgy működik, mint a denevéreké. De van egy ellentmondás is. A denevérkísérletek szerint a repülő emlős valószínűleg akkor fordítja figyelmét egy röpködő rovar felé, amikor hirtelen szapo-



A sötét országúton haladó gépkocsi annál gyakrabban villantja fel fényszóróját, minél veszélyesebb útszakaszra ér. Ehhez hasonló módszerrel használja lokátorát a delfin is. Minél közelebb ér az üldözőbe vett zsákmányhoz, annál sűrűbben hallatja ultrahangkiáltásait

rítani kezdi másodpercenkénti kiáltásainak számát. Ha ez a delfinek esetében is igaz, azt jelenti, hogy az úszó emlősök csak 40 cm távolról veszik észre az orruk előtt úszkáló halakat. A. E. Reznyikov és V. M. Belkovics ezért elfogadhatatlannak tartja a kiáltások gyorsulásának ezt a magyarázatát. Hiszen más kísérletek azt bizonyítják, hogy a delfinek sokkal távolabbról veszik észre a halakat.

Nem lehetetlen, hogy a delfin már a keresés idején tudomást szerez a zsákmányról, de csak a közelébe érve kezdi meg üldözését, amikor teljes energiával feléfordíthatja „ultrahangreflektorát". Talán a kiáltások felszaporításával kezdi figyelmét az előtte csellengő halra összpontosítani, hogy annak minden mozdulatáról hírt kapjon. Annyi bizonyos, hogy a delfinek lokátorának szerkezetét még nem vizsgálják a kutatók olyan régóta, mint a denevérekét. A kiáltások gyakoriságának és az impulzusok hosszának összefüggéséről tehát nem állnak rendelkezésre részletesebb adatok. A vadászó delfin ultrahangjeleinek törvényszerűségeit a következő évek kutatásainak kell véglegesen tisztázniuk.

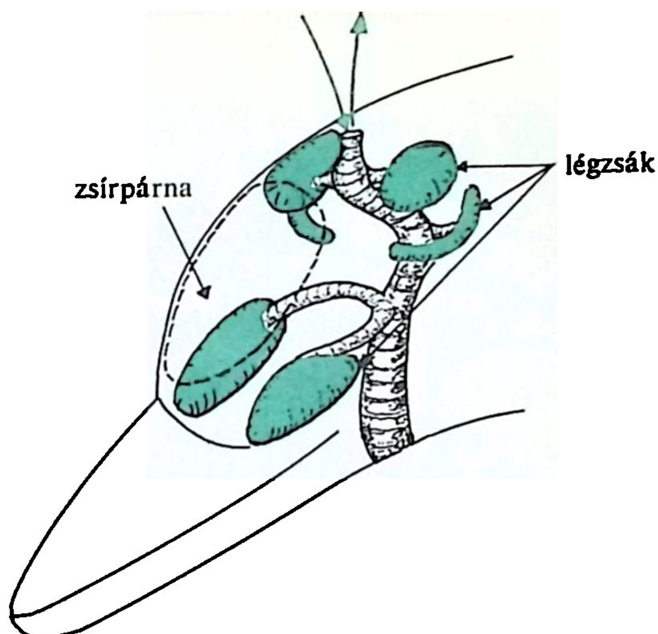
A „hangreflektor"

Sokáig rejtély volt, hogyan ad hangot a delfin, hiszen nincsenek hangszálai. Az 1960-es évek elején még csak annyit tudtak a kutatók, hogy valahol a fejében keletkezik a hang, és nagyjából vízszintes irányban terjed előre. Később a gyanú a delfin orrára terelődött. A. G. Tomilin szovjet kutató írja, hogy amikor delfineket halásznak ki, a hálóban nyöszörgő, krákogó állatok körül szinte habzik a víz a légbuborékoktól, amelyek orrnyílásukon törnek elő.

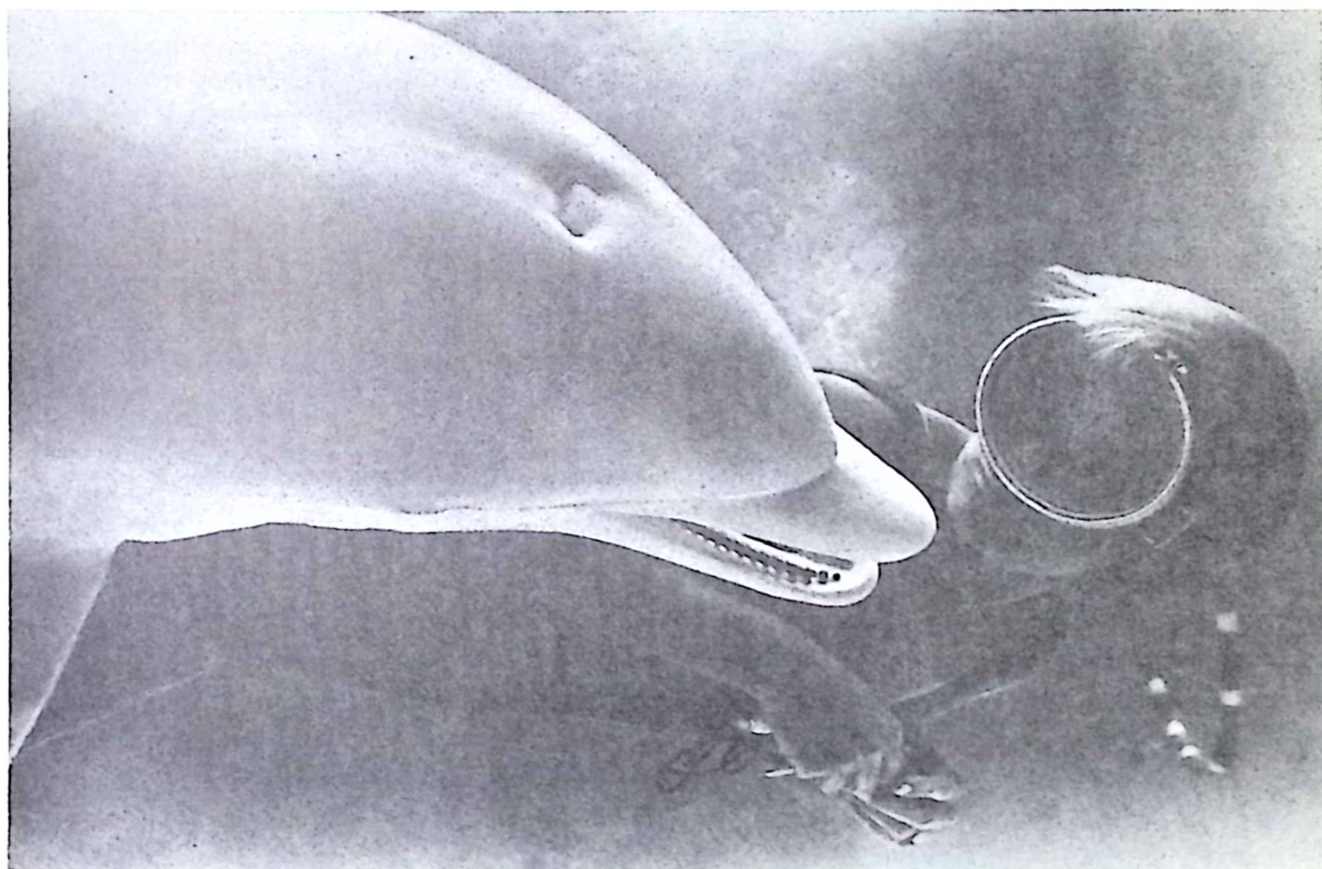
A részletes vizsgálatok során a biológusok megállapították, hogy a delfin kissé magasan hordja az orrát. Orrjárata a felső szájpadlástól a homlokán levő nyílásig vezet. Ezen a csövön három pár elágazás található, amelyhez három pár szimmetrikusan elhelyezkedő légzsák csatlakozik. A levegő beszívására, illetve kifújására szolgáló orrjáratot és az említett légzsákok sorát finom izmok bonyolult rendszere veszi körül. Minden egyes kilégzéskor a delfin először orrjáratából préseli ki a vizet a megfelelő záróizmokkal, majd a légzsákokban megőrzött leve-

gőt egyik zsákból a másikba fújja, míg végül a maradék levegő is távozik orrán át. Eközben az apró légzsákok levegője vibrálni kezd, így a legkülönbözőbb rezgésszámú hangok keletkeznek.

Ezzel a bonyolult „zenekari felszereléssel" a delfin több szólamban játszhat egyszerre. Amíg az egyik légzsákból például hallható hangokat, füttyöket hallat, ennek párjából egészen más típusú, csattanó ultrahangokat bocsáthat ki. Mindegyik légzsák annál magasabb rezgésszámú hangokat kelt, minél kisebb térfogatra húzódik össze a gyűrűs izmok hatására, ahogyan a harsona is annál magasabb hangot ad, minél beljebb tolják U alakú légvezetékét. Ilyen módon a delfin tetszés szerint állíthat elő váltakozó



Három pár légzsák csatlakozik a delfin fejében az orrjárathoz. Mindegyik légzsák térfogata önálló izomzattal változtatható, így egyszerre többféle hangrezgés keletkezhet az akusztikai lencse, a dudorodó homlok zsírpárnája mögött



Könnyűbúvár ismerkedik a víz alatt egy palackorrú delfinnel. Jól látható a delfin orrnyílása a fejtetőn. Egyetlen ki- és belégzése hihetetlenül gyors, mindössze 0,3–0,7 másodpercig tart. A vízfelszín közelében úszva, általában 3–8-szor vesz levegőt percenként, de akár 20 percig is tarthat szünetet. Egyik légzsákjából a másikba préselve a levegőt, ezek rezgései keltik valószínűleg a lokátor működéséhez szükséges ultrahangokat



A Sealab-2 elnevezésű víz alatti házban már az ember szolgálatába állították a delfinek képességét. Tuffy, a két méter hosszú, 122 kg súlyú palackorrú delfin „futárszolgálatot" teljesített. A 62 méter mélyen fekvő Sealab-2 tenger alatti laboratóriumtól 45 másodperc alatt úszott a felszínen horgonyzó kísérőhajóhoz. Egy másik kísérletben a képen látható hidrofonnal (víz alatti mikrofonnal) vették fel füttyjeleit

rezgésszámú és erősségű hangokat a sóhajtól a kiáltásig.

Az ultrahangok Belkovics és Reznyikov vizsgálatai szerint rendszerint a középső páros légzsákból törnek elő. Ez a két, kifli alakú légzsák gyűrű alakban veszi körül az orrjáratot. Belső átmérőjük körülbelül 3–5 mm, mozgatóizmaik egymástól teljesen függetlenül működhetnek. De az is elképzelhető, hogy a hang nem a légzsákokban keletkezik, hanem ezek csak olyan rezonáló üregek, amelyek felerősítik az orrjáratban keletkező rezgéseket. Az orrvezeték izmaival a cső különböző szakaszain kényszeríthető rezgésre a levegő, ez lehetővé teszi, hogy a hangforrás tetszés szerint vándorolhasson végig az orrjáraton.

Annyi bizonyos, hogy a hangok a delfin fejében a koponya erősen homorú homloktájéka előtt (amelyet a homlokcsont és a felső állkapocs alkot), de a mulatságosan kidudorodó húsos zsírpárna mögött keletkeznek. Most már csak az a kérdés, hogyan törnek elő a kiáltások a delfin fejéből. A kísérletek kezdetén, amikor még csak gyanították, hogy a delfinek ultrahangokkal tájékozódnak, lágy műanyag lapokkal takarták le az állatok szemét. Ilyen módon teljesen kizárták a látást a tájékozódásból, a kísérleti állatok mégis éppoly nyugodtan és kényelmesen siklottak a függőleges rudakkal tűzdelt medencében, és szedték össze a zsinórokon függő haldarabkákat, mintha tökéletesen látnának.

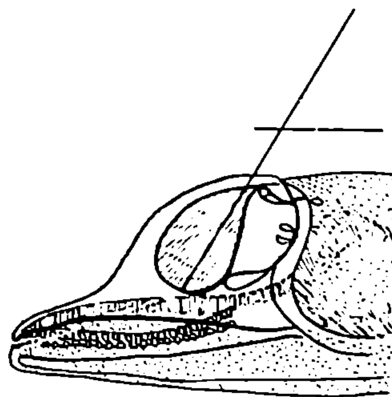
Ha azonban hangszigetelő „bukósisakot" illesztettek fejükre, amely nem zavarta látásukat, a nyugodt állatok egyszerre megvadultak. Dühödten cikáztak, és addig mesterkedtek, amíg meg nem szabadultak a kényelmetlen sapkától. Ez

megerősítette a kutatók feltevését, hogy a tájékozódáshoz szükséges ultrahangkiáltások a delfin homlokán át kerülnek a vízbe. A bionikusok először feltételezték, hogy a koponya homorú homloktájékának döntő szerepe van a felderítő jelek kibocsátásában, mert parabolatükörként sugározhatja ki a gyújtópontjában levő hangforrás rezgéseit. Hiszen egy optikai parabolatükör is párhuzamos fénynyalábot vetít ki, ha égő gyertyát állítanak gyújtópontjába. A későbbi vizsgálatok azonban megcáfolták ezt a feltevést, mert kitűnt, hogy hangtani szempontból ezek a csontok sokkal „átlátszóbbak", mint ahogy gondolták. A mérések szerint a koponyacsont a ráeső hangenergia 35 százalékát sugározza vissza, ez tehát rossz hatásfokú „hangtükör" a delfin számára.

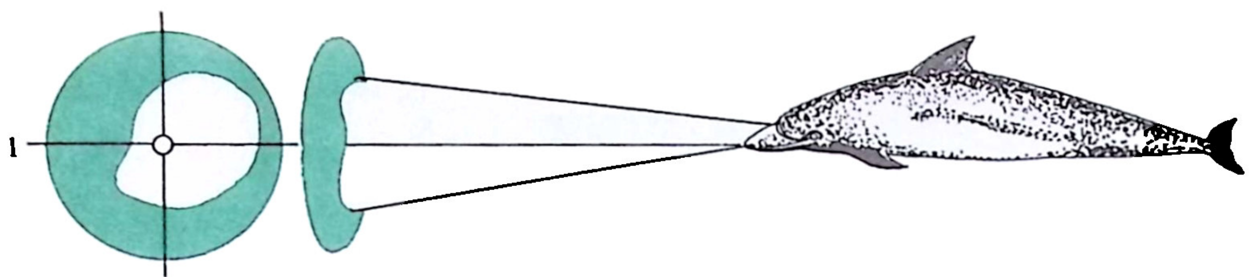
Ellenben a dudor a delfin fejebúbján különös hangtani eszközt rejt. Ez a zsírpárna úszáskor is hasznos, mert csökkenti a víz hullámellenállását, de az ultrahangos felderítéskor még nagyobb jelentőségre tesz szert. Tulajdonképpen olyan akusztikai lencse, amely az optikai üveglencsék fénytöréséhez hasonlóan gyűjti össze a sugárforrásból előtörő hangokat, és keskeny nyalábban lövelli előre őket nagyjából vízszintes irányban. J. V. Romanyenko szovjet kutató egy elpusztult delfin fejével végzett érdekes kísérletet. Vízzel telt medencében 1 méterrel a vízszint alatt helyezte el az állványra szerelt fejet, és az orrnyíláson át 1,6 cm átmérőjű ultrahangsugárzót süllyesztett az orrjáratba. Ezután ettől a sugárforrástól 1,5 méter távolságban 3 cm átmérőjű gömbmikrofont állított fel.

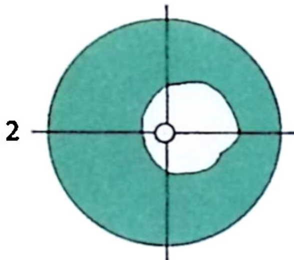
A kísérlet során 10 000-től 170 000 Hz-ig egyre növekvő rezgésszámú hangokat bocsátott keresztül a delfin fején. Az eredmény meglepő volt. Minél magasabbá váltak a hangok, annál jobban összeszűkült a sugárnyaláb. Érdekes, hogy a denevérek is képesek szonárjuk ultrahangsugarát egyre keskenyebb csóvába fogni, amint „élesebb pillantást" vetnek a hangvisszaverő tárgyra. A delfin akusztikai lencséje mindezt önműködően végzi. Ha sugarainak energiáját a vízi vadász kisebb területre akarja összpontosítani, egyre magasabb hangon kell „énekelnie".

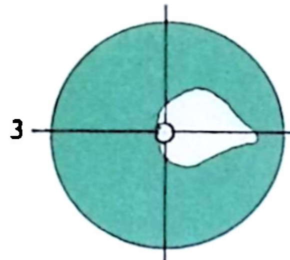
Fizikai szempontból a „hanglencse" egyszerűen működik: szélétől a közepe

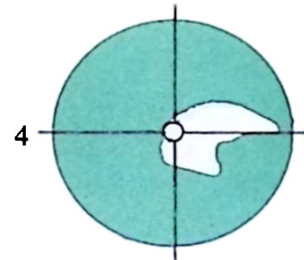


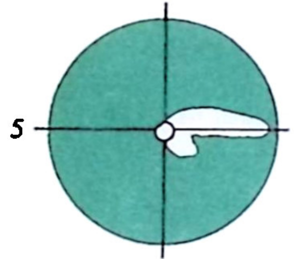
Ha függőleges irányban akarja eltéríteni ultrahangos sugárnyalábját a delfin, valószínűleg a hangképzés helyét változtatja orrjáratában. Minél lejjebb rezeg a légcső, annál magasabbra emelkedik a sugár. A zsírpárna hangtani lencséje párhuzamosan „vetíti ki" a gyújtópontjában keletkező hanghullámokat. Ha a delfin kissé változtatja a lencse alakját, a sugárnyaláb kúpossá terül szét

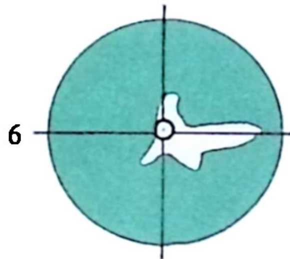


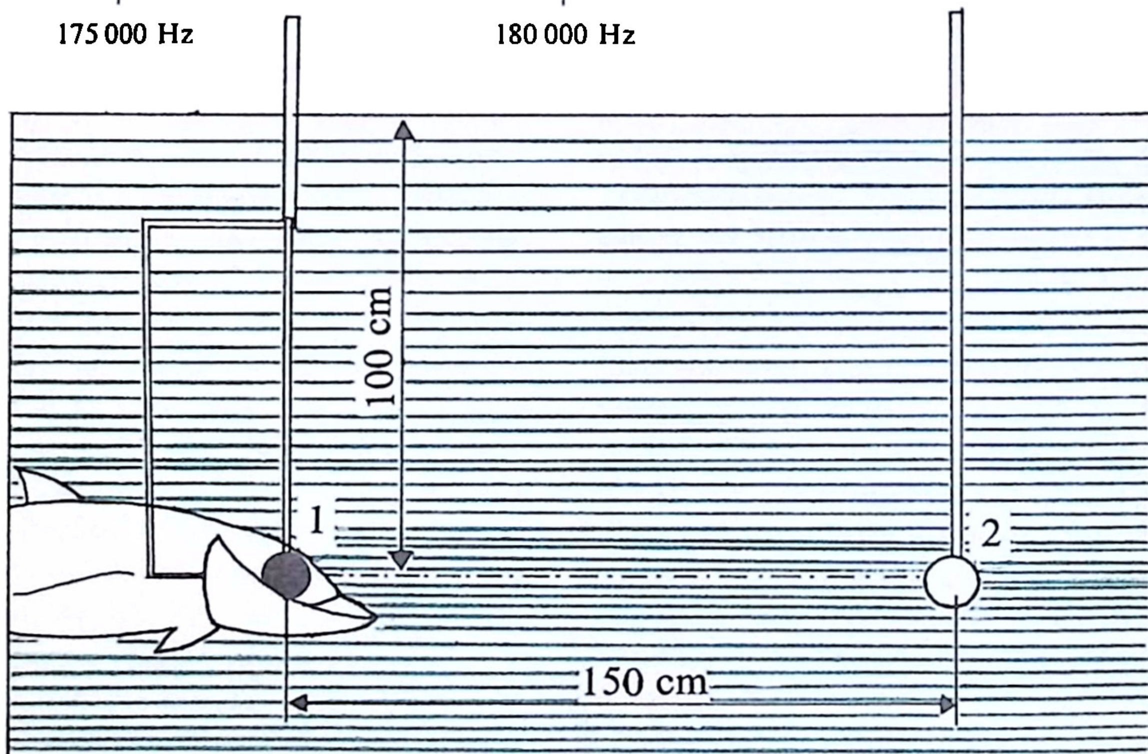












Ha szűkíteni akarja felderítő sugárkúpját a delfin, hogy valamit alaposabban „szemügyre vegyen", egyre magasabb ultrahangokat bocsát ki. Ezt a jelenséget az a vízmedencés kísérlet tárta fel, amelynek során ultrahangsugárzót helyeztek el egy delfinfejben (1: ultrahangsugárzó, 2: mikrofon). Kitűnt, hogy a homlokzsírpárna hangtani lencseként viselkedik, amint egy optikai üveglencse is erősebben „hajlítja el" a vörösnél nagyobb rezgésszámú ibolyasugarakat

felé egyre inkább lelassítja a rajta áthaladó hangokat. Ha vízbe süllyesztenének egy ilyen hanglencsét, és megkondítanának mögötte egy harangot, ennek hangja nem szóródna szét teljesen, hanem a lencse tengelyének irányában hallatszana a legerősebben. A szerteszálló hanghullámok ugyanis hosszabb idő alatt érik el a lencse szélét, mint a közepét. Minthogy a közepe sűrűbb, itt jobban lelassulnak, mint a szélén, tehát a tengelyirányban áthaladó hullámok „bevárják" a szélről érkezőket, s a hullámok most már egyetlen nyalábban haladnak tovább.

A delfin fejében hasonló folyamat mehet végbe. A Szovjet Tudományos Akadémia Fejlődésbiológiai Intézetében végzett alaktani vizsgálatok azt bizonyítják, hogy ez a feltevés helytálló. A delfin zsírpárnája valóban akusztikai lencseként viselkedik. Ez az ellipszoid alakú test, amely leginkább egy összenyomott labdára emlékeztet, a delfin testének hossztengelyével 60 fokos szöget bezárva fekszik a homlokcsont előtt. Közepében apró zsírsejtek sorakoznak, s ezeket ugyanúgy, mint az emberi izomrostokat, rendkívül finom kötőszövet fogja össze. A mikroszkópi metszetek tanúsága szerint a lencse szélei felé a sejtek egyre ritkulnak, a kötőszöveti rostok viszont mind sűrűbb hálózatot alkotnak.

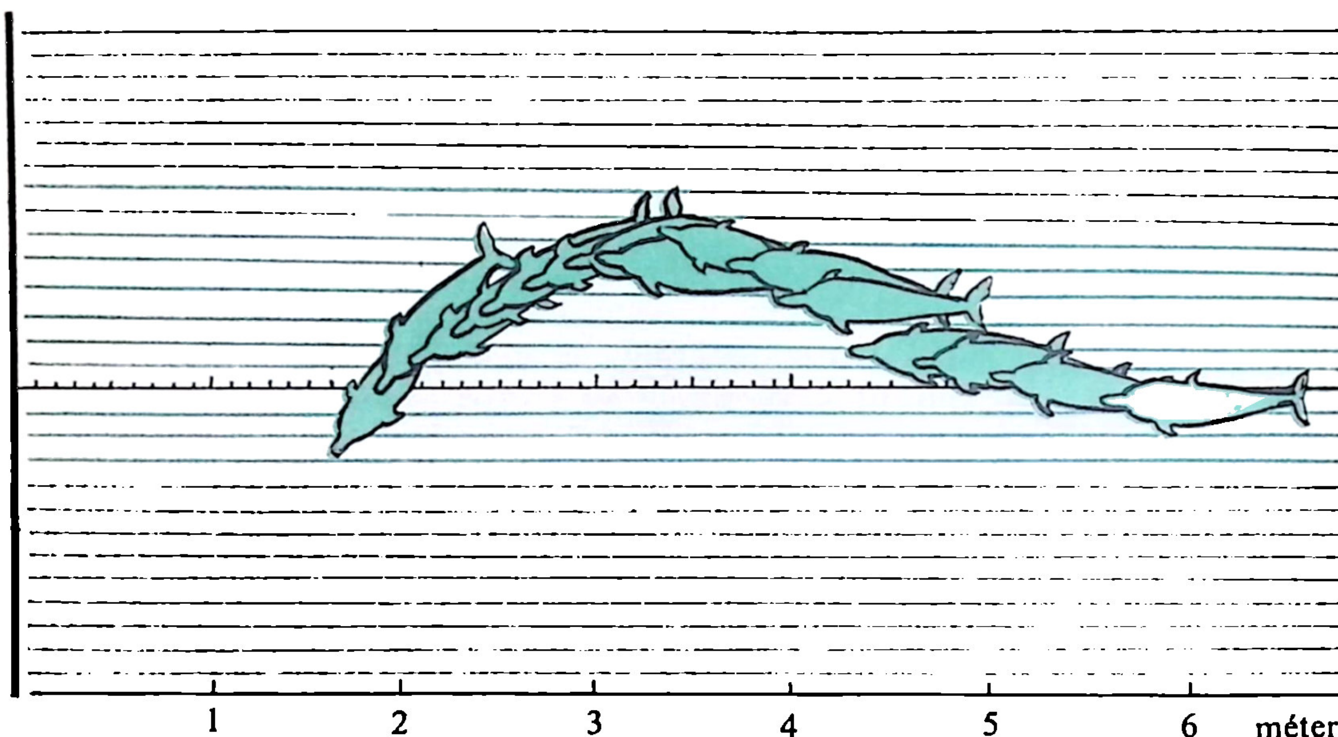
Ebből két érdekes következtetés vonható le. Egyrészt bizonyos, hogy a zsírsejtekben lassabban halad a hang, mint a környező kötőszövetben. Tehát a zsírpárna valóban egy „akusztikai lencse" feladatát láthatja el. Másrészt a zsírpárnát körülvevő kötőszöveti burok lehetővé teszi, hogy a delfin tetszés szerint változtassa a lencse sűrűségét. Szükség szerint a középpont felé tömörítheti a zsírsejteket, másrészt szét is húzhatja őket. Így módosíthatja lencséjének „hangtörését". Ezzel a lehetőséggel rendkívül finoman alkalmazkodhat a környező víz sűrűségének változásaihoz. Ha iszapos vízbe kerül, ez hangtani szempontból sűrűbb, mint a tiszta víz. Ilyenkor hangtani lencséjének „törésmutatóját" is megnöveli. A víz és a lencse határfelületén így továbbra is a megszokott irányban lépnek ki a hanghullámok.

De könnyen lehet, hogy lokátorának működése közben ezzel a lencsével tágítja vagy szűkíti a felderítő hanghullámok sugárkúpját. Igaz, hogy ha változatlanul hagyja lencséjének „hangtörését", akkor is bekövetkezik ez a jelenség – amint ez Romanyenko kísérletéből kiderült –, csak a kisugárzott hangok rezgésszámát kell csökkentenie vagy növelnie. De a lencse hangtörésének növelésével állandó hangmagasságon is szűkítheti a sugárkúpot.

Ma még nem tudjuk, melyik elképzelés igaz, és hogyan „játszik" a delfin ezzel az akusztikai lencsével a valóságban. Mindenesetre meglepő, hogy ez a többszörös szabályozórendszer erősen emlékeztet az énekesmadarak hangképzésére, ahol a hangmagasság és a hangerő tetszés szerint változtatható. A kísérletek során vallatóra fogott delfinek remélhetőleg ezekre a kérdésekre is válaszolnak majd.

Kopogtató ultrahangok

Felderítés közben a delfin csóválja a fejét! Nem azért, mintha bosszankodna, hogy egyetlen hal sem akad az útjába. Éppen ellenkezőleg. A filmfelvételek elemzése arra mutat, hogy a delfin így kutat ultrahangos sugárnyalábjával jobbra-balra a vízszintes síkban. Szinte „letapogatja" a környező teret. A mérések szerint hossztengelyéhez képest általában 10–13 fokkal fordítja jobbra vagy balra a fejét, és így az előtte levő félgömb alakú térből



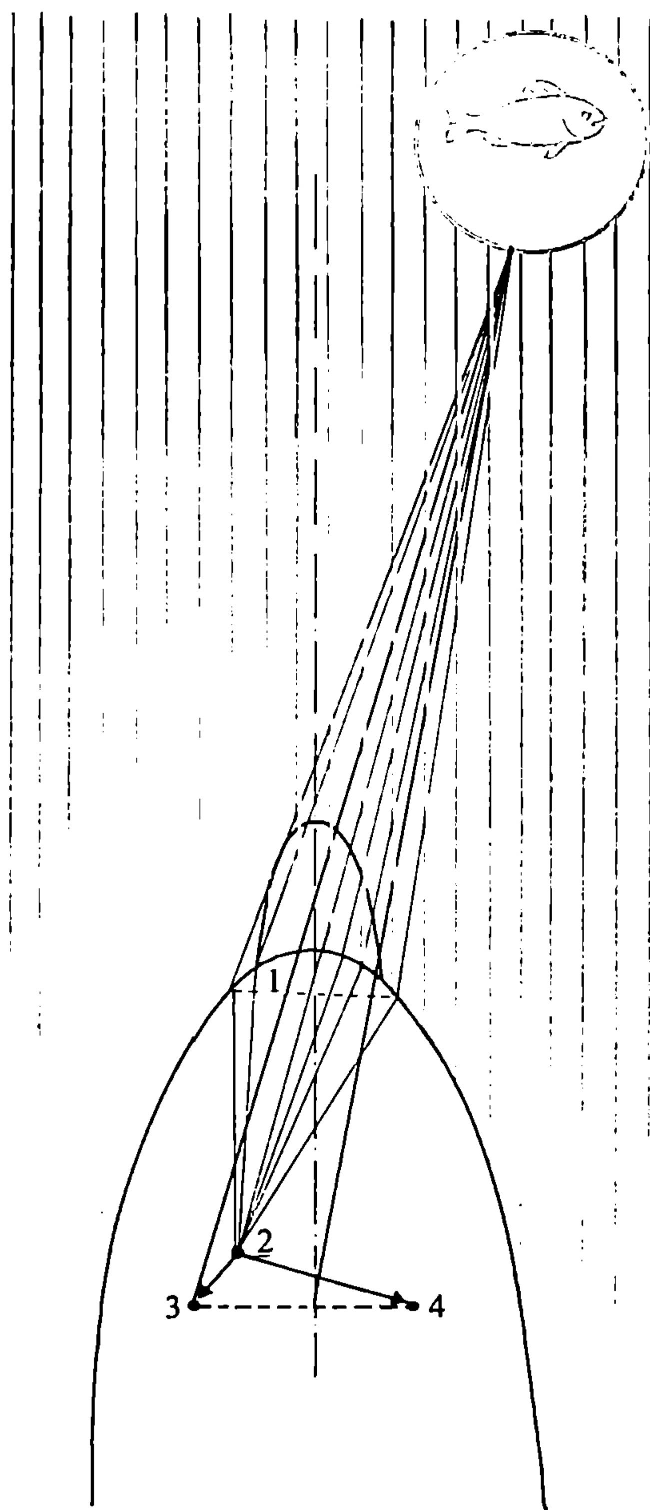
Ha vízszintes irányban akarja mozgatni sugárkúpját a delfin, a fejét csóválja úszás közben. Minél közelebb kerül zsákmányához vagy valamilyen akadályhoz, annál gyorsabbá válik fejének lengése

mintegy $^1/_9$–$^1/_8$-nyi szeletet vesz szemügyre. De minél közelebb kerül valamilyen akadályhoz, annál gyorsabban lengeti fejét.

Lokátorának sugárnyalábját nemcsak vízszintesen, hanem függőlegesen is mozgathatja. Belkovics és Nyesztyerenko szerint a hangsugár iránya attól függ, hogy a delfin hol képezi orrjáratában a hangot. Ha a két, kifli alakú középső légzsák táján keletkeznek a rezgések, az akusztikus lencse nagyjából vízszintesen bocsátja ki a sugárnyalábot. Ha azonban a hangforrás lejjebb csúszik az alsó légzsákok felé, a hangsugár „megbillen", és ferdén felfelé hagyja el a delfin fejét. Ha viszont az ornyílás közelében képződnek az ultrahangok, a vízszintestől lefelé tér el a lokátorsugár.

A két szovjet kutató olyan jelenségnek is nyomára bukkant, amely a delfin lokátorának rejtett képességeibe enged bepillantást. Egy-egy kiáltás sugárnyalábjában nem egyenlő a hangerő eloszlása. Ha képzeletben leheletvékony selyem zsebkendőt tartanánk a delfin elé, azt látnánk, hogy rövid csattanó jel után a zsebkendő egy helyütt erősebben dudorodik ki. Itt nagyobb a hangnyomás! A következő lokátorimpulzus hatására másutt domborodik ki erősebben a selyem. A mérések szerint 0,003 másodpercenként kb. 1 fokkal fordul el a hangnyomás „csúcsa" a sugárkúp tengelye körül.

Vajon mi szüksége van a delfinnek erre a különös játékra? A kutatók feltevése szerint úszás közben így „tapogatja le" a környezet finom részleteit. Amikor a fejlengéssel és a sugárforrás helyének változtatásával tetszés szerint elfordítja lokátorának ultrahangnyalábját, akkor a hangerőváltozással ebben az irányban további részleteket derít fel az előtte felbukkanó akadályokról. Olyannak tűnik ez a lokátorsugaras módszer, mint ami-



A legújabb vizsgálatok szerint a delfin hangtani lencséje a visszaverődött ultrahangokat is összegyűjti. A két hallószerv közé érkező sugarak térbeli hallást tesznek lehetővé. Sajátságos a delfin képhallása: az apró halból valószínűleg csak a csontvázat és az úszóhólyagot „látja".
Az ultrahangok segítségével a delfin tehát „belelát" a tárgyakba. (1: hangtani lencse, 2: gyújtópont, 3: bal fül, 4: jobb fül)

kor valakire rászakad a sátor. Ilyenkor egyetlen pillantással megállapíthatjuk, hol akar éppen rémülten kimászni az illető, mert ott dudorodik ki legerősebben a ponyva. A delfin esetében, minthogy lokátora hangokkal dolgozik, ezek a körben vándorló jelek valamiféle kopogtatáshoz hasonlítanak. Ha lokátorából impulzussorozatot küld az akadály felé, a különböző erősségű kopogtatások árulják el számára, hogy a tárgy például milyen anyagból van. Nyilván ezzel magyarázható, hogy egy azonos alakú cső és egy hal között is különbséget tesz, minthogy ezek egyes részletei nem egyformán verik vissza a hangokat. Napjainkban a delfin lokátorának ezt az úgynevezett amplitúdómodulációs (AM) módszerét vizsgálják behatóan a kutatók.

Rejtett fülek

Ilyen kitűnő lokátorhoz rendkívül érzékeny fülre van szükség. De akárhogy nézzük a delfinfotókat, fülkagylónak nyoma sincs rajtuk. Pedig ahogyan a denevéreknek is nagy szükségük van ezekre a forgatható „parabola antennákra" a visszaverődő gyenge ultrahangok vételében, ugyanúgy a delfinek sem nélkülözhetik – gondolhatná az ember. A fej mindkét oldalán, közvetlenül a szem alatt elhelyezkedő külső hallójárati nyílás mégis oly kicsi, hogy csak a biológusoknak van róla tudomásuk. A fülkagylókat nyilván „selejtezni" kellett a törzsfejlődés során, mert nagy ellenállást fejtettek ki a vízben.

Sokáig az volt a tudósok véleménye, hogy a cetfélék (ebbe a rendbe tartoznak a delfinek is) nem sok hasznát veszik a kintről bevezető vékony hangcsatornának. A dobhártya és a középfül csontocskái olyan szokatlan alakúak, hogy

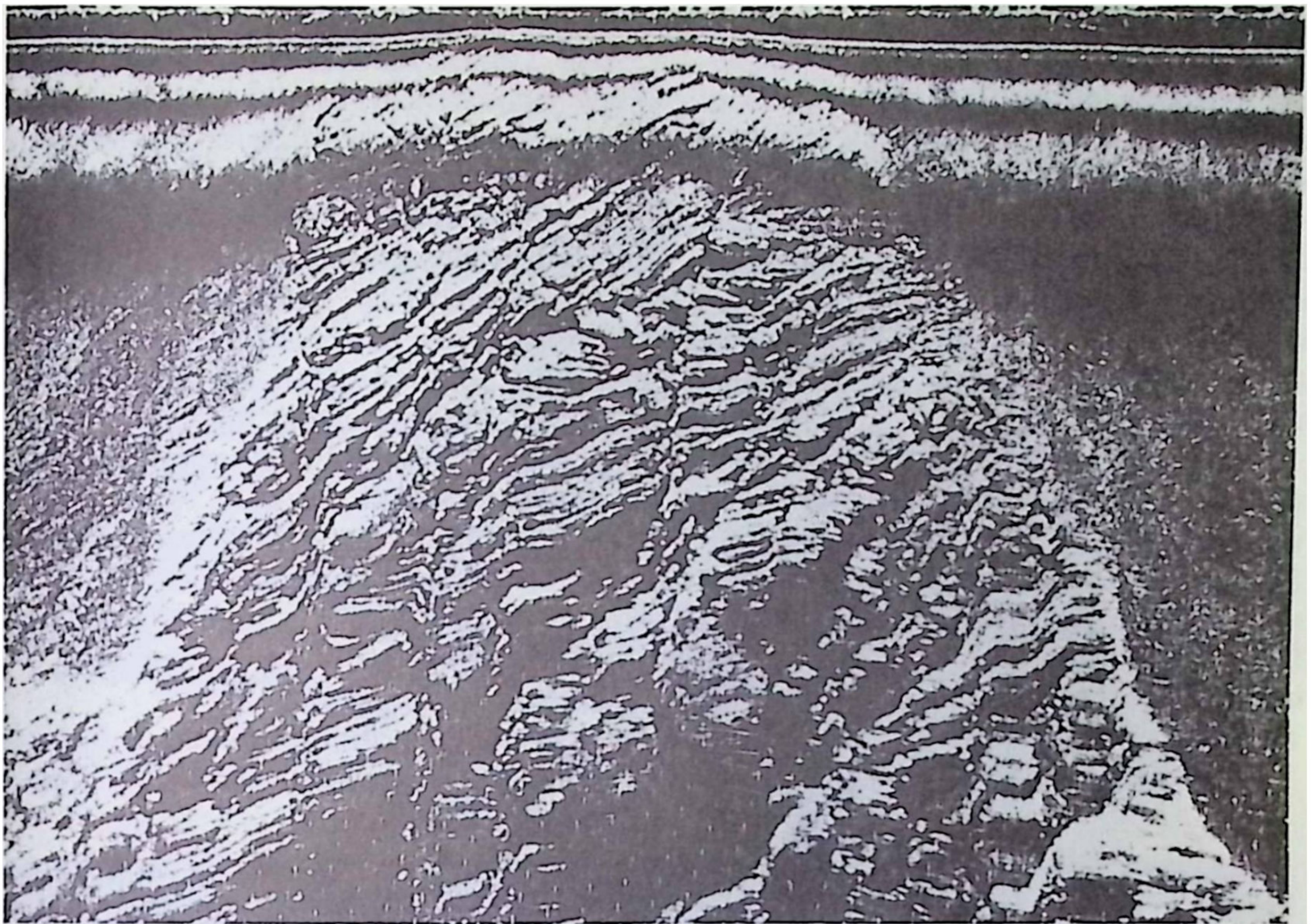
már eleve nem vezethetik a hangot a belsőfül ovális ablakához. Feltételezték, hogy a cetek egész testükkel fogják fel a hangokat, így a koponyacsont közvetlenül a belsőfülbe továbbítja a rezgéseket. A későbbi vizsgálatok azonban bebizonyították, hogy a csontvezetés elmélete teljesen hibás. A cetek hallása kitűnő, és a fülük hangátalakító szerkezete ugyanúgy működik, mint a többi emlősé.

Csakhogy a cetfélék nem a levegőben, hanem a vízben hallanak élesen. Minthogy testük nagy része vízből áll, így a hanghullámok valószínűleg a légzsákok levegőjét rezegtetik meg. Ez a hangrezgés azután az úgynevezett Eustach-csövön keresztül jut a középfülbe, ahol „belülről kifelé" mozgatja meg a dobhártyát. Ezt a feltételezést azonban még nem igazolták kísérletileg. Annyi bizonyos, hogy a hangok által megrezegtetett dobhártyáról kb. 30-szoros erősítéssel továbbítja a három hallócsontocska a lokátorhangok visszaérkezett jeleit a belsőfülhöz. A csiga meglehetősen bonyolult szerkezet, és valószínűleg finomabb elemzésekre képes, mint az emberi fül. Az ember és a palackorrú delfin csigája ugyanis nagyjából azonos méretű, de a belőle kivezető hallóidegköteg a delfinben kb. ötször vastagabb, mint az emberben (1 mm helyett 5 mm!).

Minthogy a delfin ultrahangokat is kibocsát, természetes, hogy füle nemcsak az ember hallási tartományában működik, hanem a magasabb rezgésszámú hallhatatlan hangokat is érzékeli. Ez az érzékenység azonban bizonyos rezgésszámoktól felfelé egyre csökken. B. Lawrence és W. Shevill palackorrú delfinekkel végzett kísérletei során megállapította, hogy ha az állatoknak bizonyos hangjelek alapján kellett egy feladatot megoldaniuk, 150-től 120 000 Hz-ig bármilyen rezgésszámú jelre pontosan válaszoltak valamilyen mozdulattal. Ha azonban a hangrezgéseket 153 000 Hz-re növelték, egyre több hiba csúszott a válaszokba, mindössze 13 százalék volt elfogadható. S. C. Johnson amerikai kutató is hasonló eredményre jutott. Egy palackorrú delfin hallását 10 Hz-től 150 000 Hz-ig találta még elfogadhatónak, azzal a szépséghibával, hogy a tartomány két szélső pontján a kísérleti delfin már csak olyan erős hangokat hallott meg, amilyen hangerővel egy zakatoló porszívó rezegteti meg a levegőt. Máskülönben a delfin az ultrahangok tartományában, 50 000 Hz-es rezgésekkel szemben bizonyult a legérzékenyebbnek:



A delfinek térhallása sokkal finomabb, mint az emberé, és az ultrahangok tartományában a legérzékenyebb. Egyre inkább bebizonyosodik, hogy legalább olyan tökéletes képhallással rendelkeznek, mint a denevérek a levegőben



Az ultrahangos szonárberendezések nagy segítséget nyújtanak a tengerfenék feltérképezésében. A kutatóhajó haladása közben a hanghullámnyaláb oldalirányban ingázva „sepri végig" a tenger alját. A láthatóvá tett visszhangjelek egységes képekké állnak össze. Ezen a szonárfelvételen 800 méter széles, barázdált óceáni hátság húzódik. Valószínűleg a delfinek is ilyen képet „látnak" lokátorukkal

olyan halk hangot is meghall, mintha falevelek zizegnének a levegőben. Legalábbis az irányát, mert a távolságról a lokátorjelek tájékoztatják. A hallható hangok tartományának határán (20 000 Hz-en) az óraketyegés erősségével kell szólnia a hangnak, hogy a delfin felismerje.

Fülei a visszaverődött hangok irányának megállapítására is alkalmasak, minthogy tökéletesen el vannak szigetelve egymástól és a koponyacsonttól. 1960-ban F. K. Frazer és P. E. Pervec fedezte fel, hogy a középfület és a belső fület valóságos habszigetelés veszi körül, amely minden zavaró rezgést elnyel. Ez a szigetelőanyag apró légbuborékokkal fellazított zsírból áll. Az apró légbuborékok nyilván minden rezgést elnyelnek, így a hangok csak a középfülön át érkezhetnek a „kopogtató kengyel" közvetítésével a belsőfülbe. Minthogy a két fül különkülön érzékeli a hangokat, a visszhangok egymáshoz viszonyított késése vagy leheletnyi hangerőkülönbsége alapján a delfin agyának „elektronikus számítógépe" valószínűleg már pontosan meghatározza a visszaverődést okozó tárgy helyzetét a térben. Ez éppen elég ahhoz, hogy kiáltásainak gyenge visszhangját is meghallja.

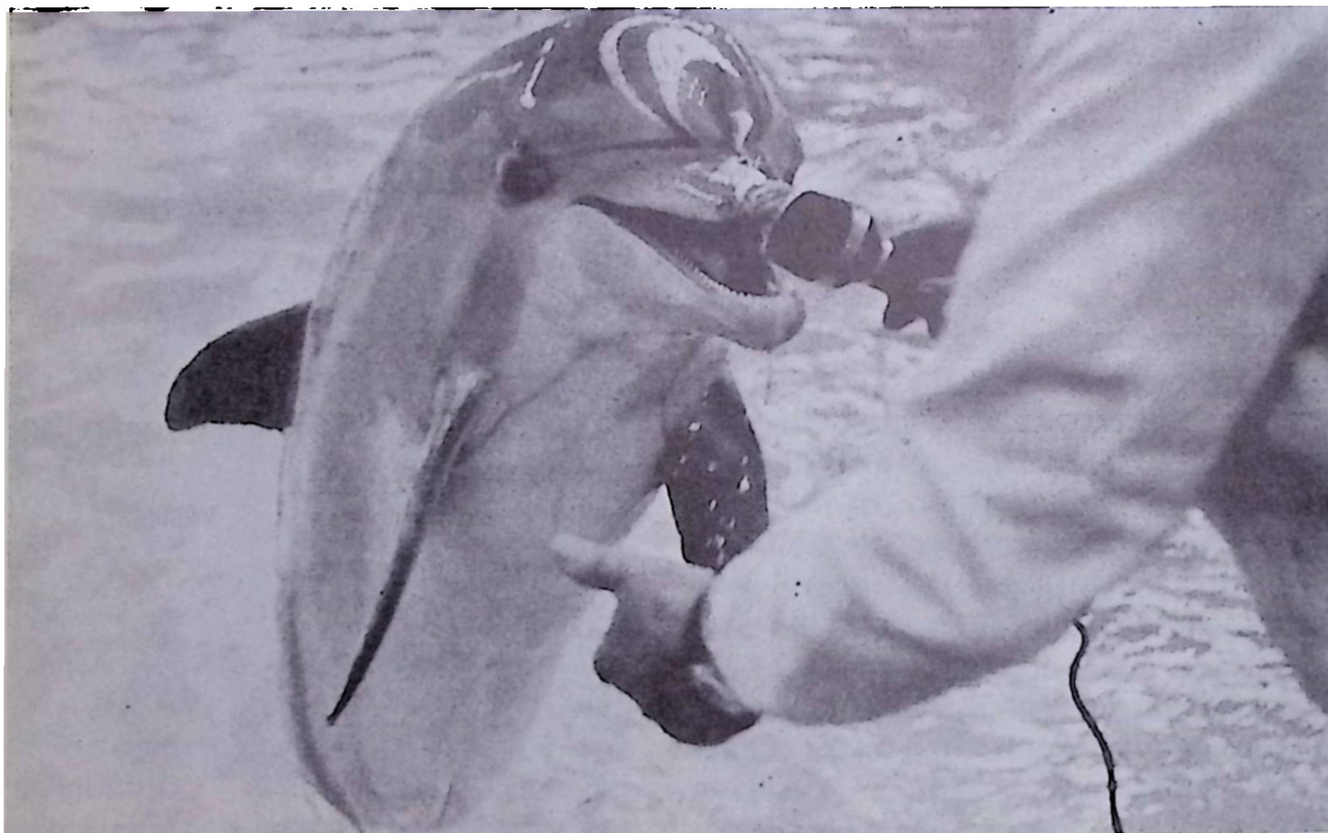
„Most te következel”

„A kerítésen át beszélgettek egymással, mint a gyerekek szokták, akiket külön-külön szobában fektetnek le aludni. És ráadásul a találkozáskor szigorú sorrendben nyögtek és sóhajtoztak: mindegyik időt adott a másiknak, hogy befejezze a szavát” – írja John Lilly amerikai kutató a marinelandi oceanárium két delfinjének viselkedéséről.

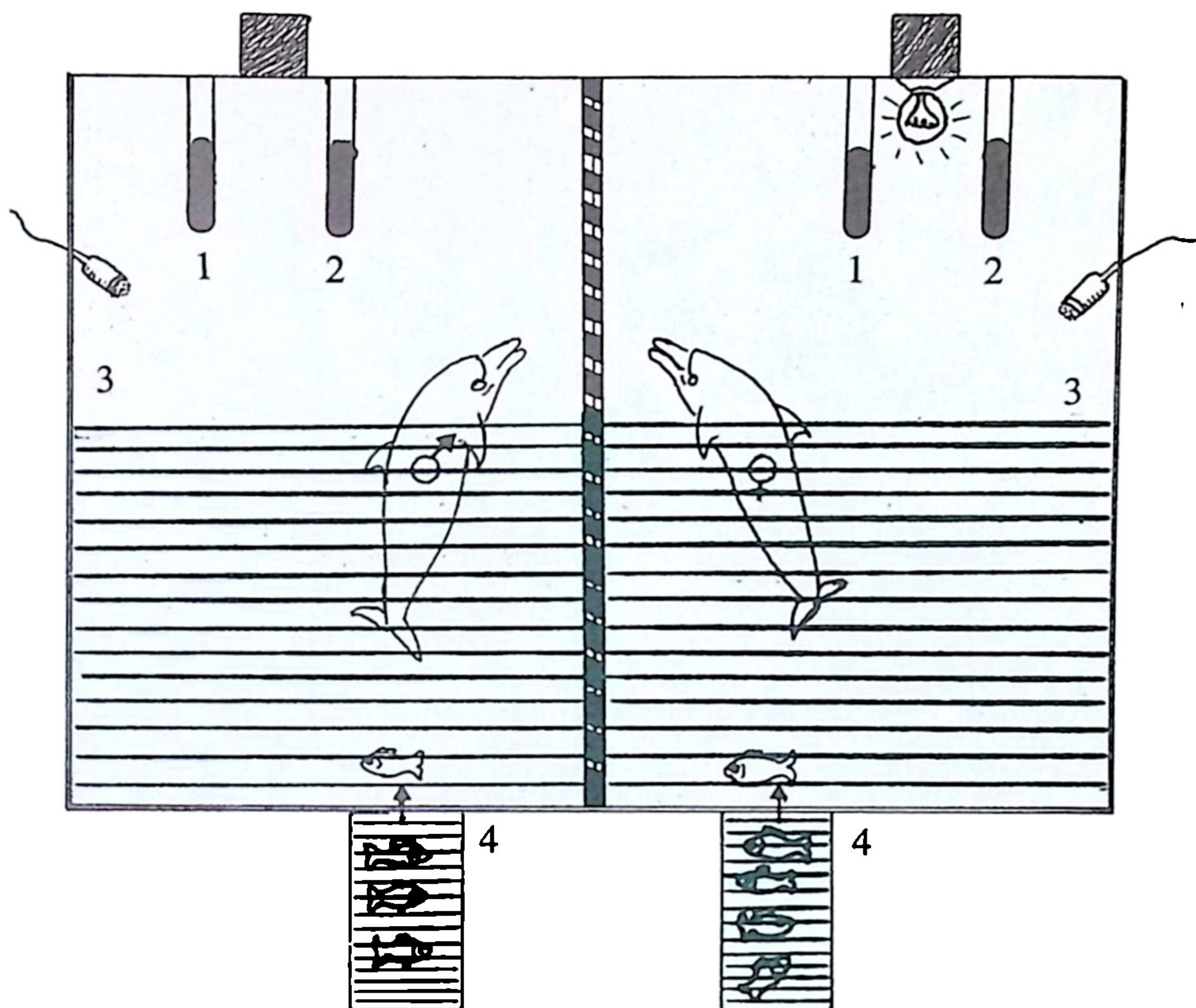
Valóban beszélgetnek egymással a delfinek? Hangképző szerveik felépítése alapján vitathatatlan, hogy rendkívül bonyolult hangokat kelthetnek, de ez nem jelenti azt, hogy emberi értelemben véve társalognak. Csupán bonyolultabb információkat közölhetnek egymással, mint az állatok általában.

A delfinek beszédének titkát J. Bastian amerikai pszichológus vizsgálta behatóbban. Durva hálóval két részre osztott egy vízmedencét, és mind a két térfélbe egy-egy delfint költöztetett. Mindegyik delfin két pedált kapott „lakosztályába”, de a medence jobb felében egy villanykörtét is felszereltek a két pedál közé. A kísérletsorozat először a tanítással kezdődött. A lámpával egy térben levő nőstény delfin, amelyik az „összkomfortosabb” részbe került, megfelelő jutalmazás ellenében először azt tanulta meg, hogy ha folyamatosan ég a lámpa, akkor a jobb oldali, ha szaggatottan ég, akkor a bal oldali pedált nyomja le. Ezt a másik oldalon a hím is hamar megtanulta, miközben állandóan „átsandított” a hálón a lámpa felé.

Ezután bonyolultabb feladat következett. Amikor a lámpa kigyulladt, először



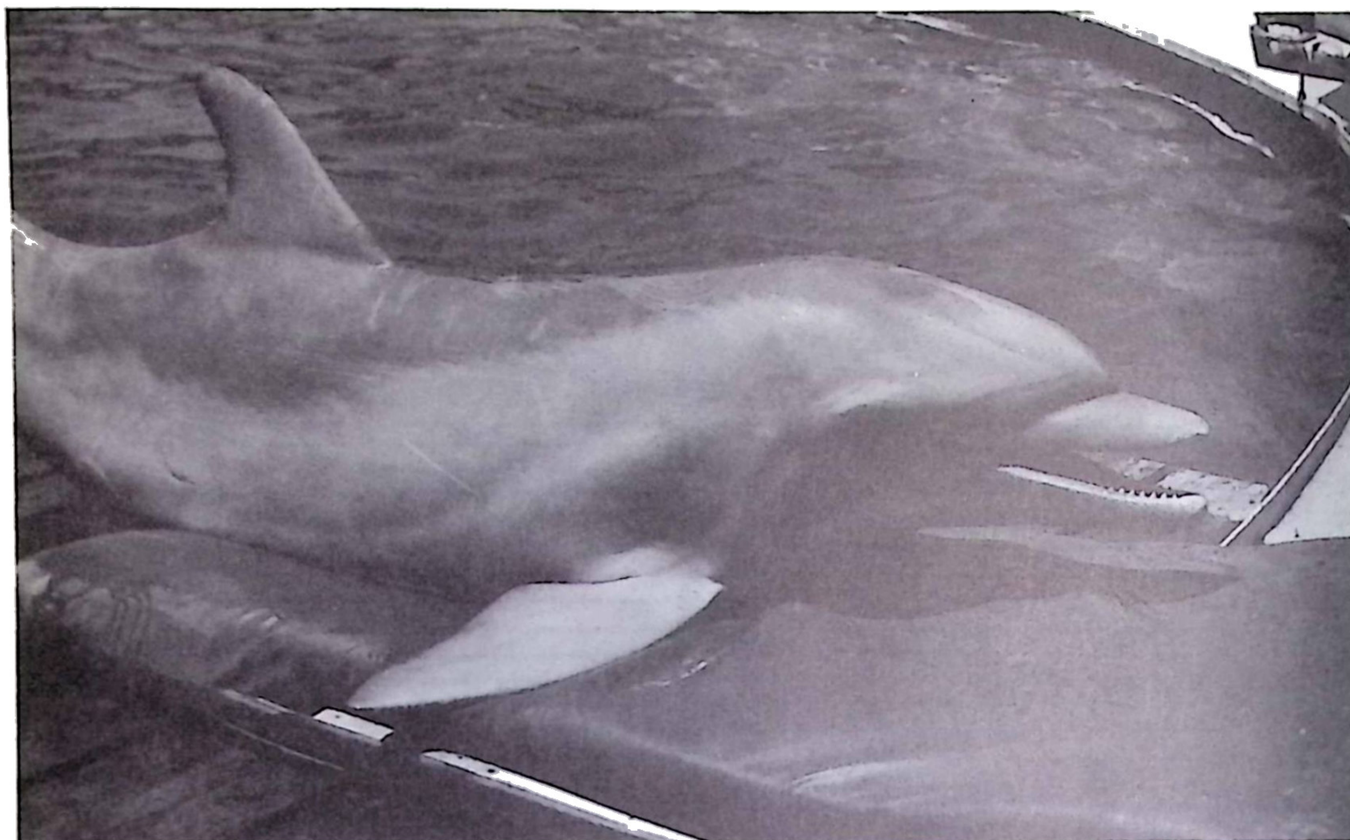
Még keveset tudunk a delfinek beszédéről! Bár a kutatók számos hangjelet rögzítettek, és a legkülönbözőbb módon elemezték a füttyök időtartamát, alakját és rezgésszámát, távolinak tűnik a remény, hogy sikerül megfejteni a delfinek „beszélgetésének” titkát



A híres kísérlet, amely először szolgáltatott kézzelfogható bizonyítékot arról, hogy a delfinek „beszélgetnek" egymással. A kigyulladó lámpáról és a kísérleti feladatról a nőstény delfin különféle hangokkal tájékoztatta a medence túlsó felébe zárt társát (1: bal pedál, 2: jobb pedál, 3: hidrofon, 4: jutalomhalak)

a hálóval elválasztott hím delfinnek kellett megnyomnia a megfelelő pedált. A nősténynek türelmesen kellett várnia, s csak akkor nyomhatta meg valamelyik „saját pedálját", ha társa már cselekedett. Ezt a játékot is viszonylag hamar megtanulták. Mindössze öt perc kellett hozzá! Száz esetből 97-szer hibátlanul végrehajtották a feladatot, akár folyamatosan, akár villogva égett a lámpa.

S itt következett a fordulat a kísérletben! A delfineknek most már meg kellett szólalniuk. Az elválasztó hálót ugyanis átlátszatlan lemezre cserélte fel a kutató. Meggyulladt a lámpa, és folyamatosan égett. A nőstény delfin jól látta a jelzést, de várnia kellett a megszokott módon. Ezért bizonyos füttyjeleket hallatott, a társa a túloldalon azonnal lenyomta a jobb oldali pedált. Ha a lámpa villogott, néhány füttyjel hallatán az elkerített hím delfin a bal oldali pedált nyomta le. A nősténynek tehát nemcsak azt kellett közölnie a szomszédos hímmel, hogy kigyulladt a lámpa, hanem azt is, hogy folyamatosan ég-e vagy villog. Ettől függött, hogy társának melyik billentyűt kell választania. A delfinek ismét 97 százalékos pontossággal hajtották végre a feladatot. S ami még érdekesebb, a hím



A palackorrú delfin szemmel láthatóan élvezettel vesz részt az ember tudományos kísérleteiben és idomítási produkcióiban

.ütyülve jelzett vissza a láthatatlan nősténynek, hogy most már ő is lenyomhatja a megfelelő billentyűt.

Hogy valóban a hangjelek közvetítik az információkat, erről egyszerű módon győződtek meg a kísérletezők. Amikor hangszigetelő anyaggal választották ketté a medencét, 100 közül már csak 54-szer sikerült a feladat helyes végrehajtása, tehát akár véletlenül is eltalálhatták a választ. Ha azonban a műanyag szigetelőlapon apró nyílást hagytak szabadon, a sikeres válaszok száma 84-re emelkedett.

Bastian arra is kíváncsi volt, milyen hangjelekkel értesítik egymást a delfinek a kísérletek során. Víz alatti mikrofonokkal magnetofonszalagra rögzítette „párbeszédüket", és több ezer füttyöt, impulzussorozatot tanulmányozott át. A gyakorisági elemzésből kitűnt, hogy a lámpa felgyulladása láttán a nőstény általában egy éles füttyöt és egy csattanási sorozatot bocsátott ki. Ilyen esetben a hím pontosan végrehajtotta a feladatot. Ha a fütty elmaradt, rendszerint a hím sem találta el a megfelelő pedált.

Egy-egy kísérleti szakasz során a lámpa kigyulladásától a pedálok lenyomásáig a nőstény összesen 25 füttyöt hallatott, és 117-féle jelet adott. A hím viszont átlagosan 20 füttyel válaszolt. Végső soron a delfinek 500 füttyel együtt 400 csattanó hangot is kiadtak. Tehát nemcsak az ember hallási tartományában, hanem ultrahangokon is közöltek egymással tudnivalókat. Az impulzusok sorozata 1,6–0,9 mp-ig tartott, s egy-egy sorozatban átlagosan 47 impulzust bocsátottak ki. A jelekből az is kivehető, hogy a nőstény hosszabb sorzattal adott jelzést a

hímnek, ha folyamatosan égett a lámpa, mint ha villogott. De mindezek a megfigyelések még távol állnak attól, hogy segítségükkel fogalmat alkothassunk a delfinek híradástechnikai rendszeréről.

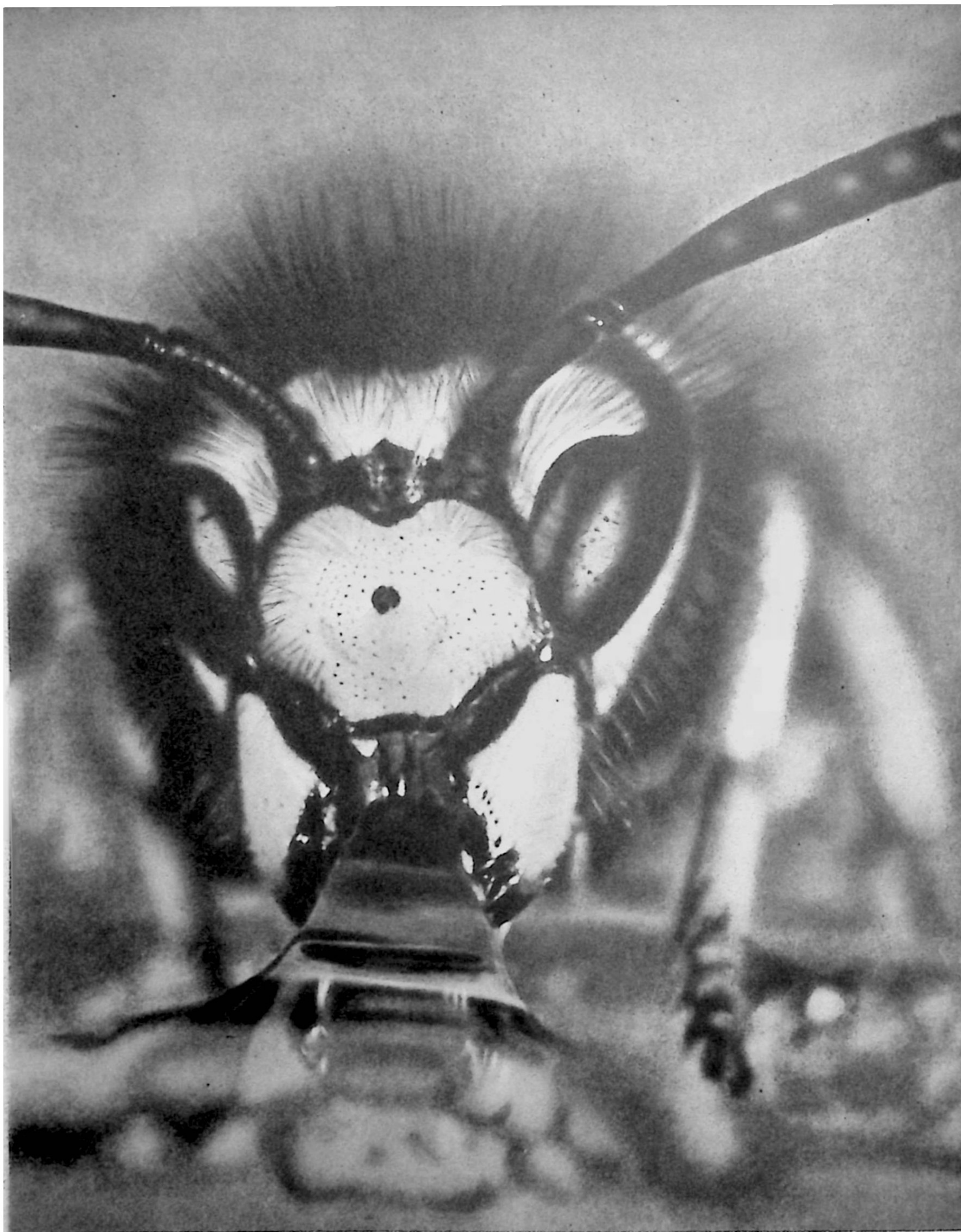
Minthogy ezek az emlősállatok rendkívül tanulékonyak, és hallásuk is kitűnő, egyes kutatók angol szavakra próbálták megtanítani őket. A feltételes reflexek kialakítása révén el is érték annyit, hogy amikor az emberi beszédhangok rezgésszámát arányosan megnövelve, a vízbe vezették a „karika", a „sapka" vagy a „pálca" szavak rezgéseit, a delfinek megtanulták, melyik tárgyat kell elhozniuk. De ezzel lényegében nem árultak el több tanulékonyságot, mint a kutyák.

A Szovjet Tudományos Akadémia Morfológiai Intézetének vizsgálatai szerint a delfinek körülbelül négyszáz különféle „szót" használnak érzelmeik kifejezésére, az elégedettségtől a bosszúságon át a félelem hangképéig.

De hogy valamikor igazán társalogni fogunk a delfinekkel? Ez olyan szép illúzió, hogy nem is lehet igaz. Végső soron akármilyen nyelvre próbálják megtanítani ezeket a víz alatti intelligens lényeket, az ember fogalmi rendszerét sohasem érthetik meg, s így nem is társaloghatunk velük a jövőben, akármilyen érdekesen álmodta meg ezt a lehetőséget Robert Merle, a kitűnő francia író *Állati elmék* című könyvében.



A fantasztikus regényeknek is főszereplője az okos, és sokféle kitűnő képességgel rendelkező delfin



Ízek és illatok harmóniáját élvezve szívja a mézet a háziméh. A bionika szempontjából nem könnyű meghatározni az anyagok ízét és illatát ugyanolyan fizikai jellemzőkkel, mint a fényt és a hangot. Így az ingerfelvevő érzékszervek működéséről nem sokat tudunk

ÍZEKRE SZEDETT ILLATOK

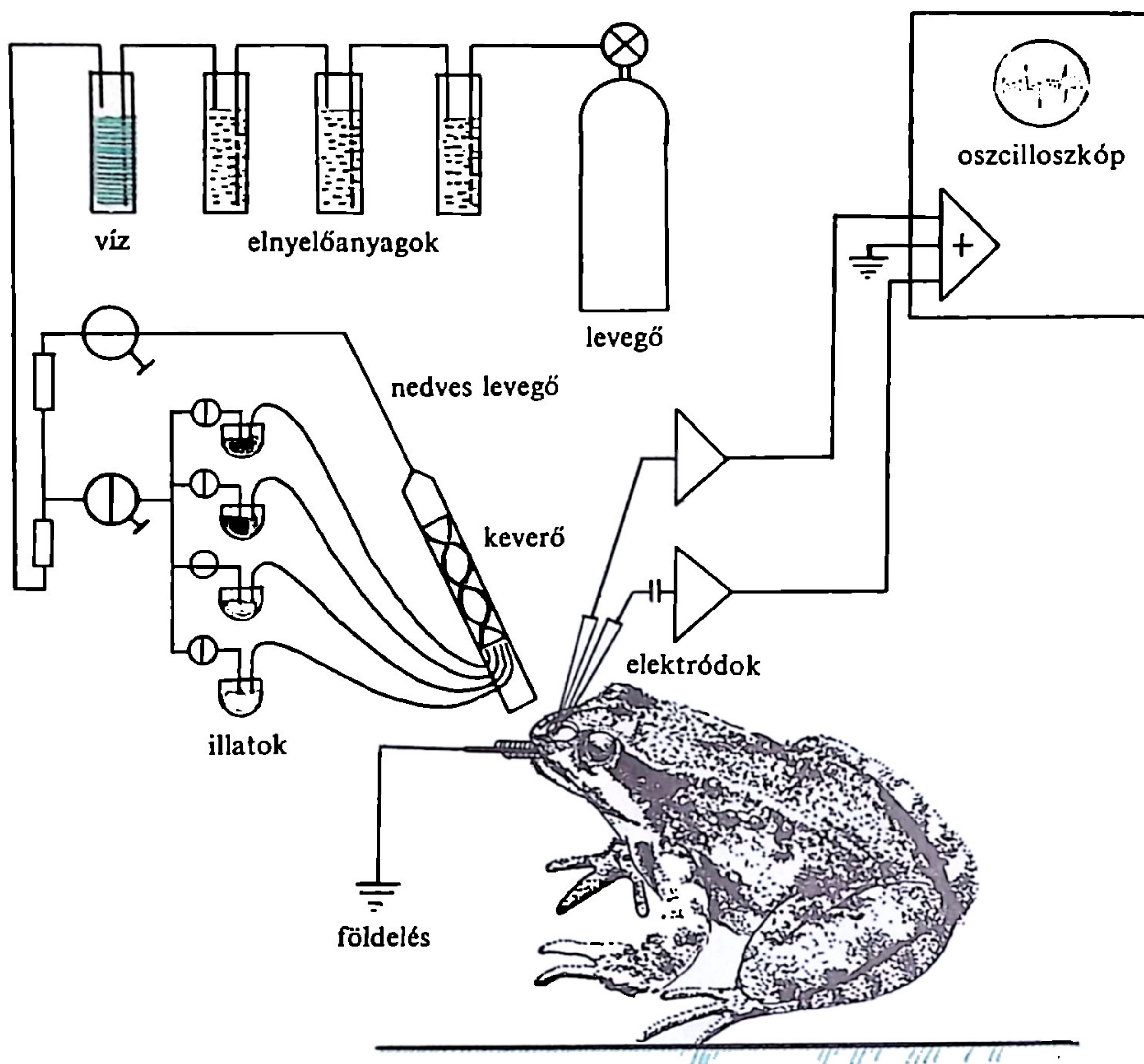
Amikor összecsendül két pohár, és mindenki ízlelgeti az első kortyokat, a legtöbben csak annyit tudnak mondani a borról, hogy ízlik vagy nem ízlik. Néhány pohár után pedig már nem is törődik senki az ital illatával, ízével és zamatával. A hivatásos borkóstolónak azonban mindig józannak kell maradnia. Nem is issza meg a bormintákat, így harmincféle minőségi jellemzőt képes megállapítani. De hol van ez még a borokban kavargó ízek és a pohárból felszálló illatok szimfóniájától! Ahány illat, annyiféle. Ahány íz, annyi fajta. Nagyon nehéz rendszerezni őket. Nem csoda, hogy még korunk fejlett technikája is képtelen volt olyan műszert alkotni, amely valamilyen fizikai-kémiai értékmérő rendszer alapján meg tudná határozni az ételek és más anyagok illatának vagy ízének alkotóelemeit.

Pedig az állatvilágban a szagok és az ízek sokszor döntően befolyásolják az egyedek viselkedését a táplálék keresésétől a menekülésig. Az illatok révén számos faj ugyanolyan értesülésekre tehet szert, mint a fény vagy a hang érzékelésével. Ha a bionika jobban feltárja majd az illat és az íz elemzésére alkalmas eleven készülékek működését, talán a technika is versenyre kelhet nemsokára ezekkel a hallatlanul finom érzékszervekkel.

Az élővilág illatérző „műszerei" valóban talányos szerkezetek. Az ember orrában mindössze 4–5 cm^2-nyi felületű a tulajdonképpeni szaglóhám, de ha figyelembe vesszük, hogy ezekből a sejtekből 2 mm hosszú érzőszálak (ciliák) nyúlnak bele abba a finom nyálkarétegbe, amely a szaglóhám felszínét borítja, akkor a ciliák együttes felülete 60–100 cm^2-t tesz ki. Ezen a tenyérnyi területen kerülnek kapcsolatba a szaglósejtek a légáramlat útján besodródott anyagrészecskékkel. De hogyan vesznek tudomást a különféle molekulákról? Annyi bizonyos, hogy ha inger éri őket, mint parányi rádióállomások, villamos jeleket küldenek a központi idegrendszerbe.

A szem látóidegsejtjei a fényt alakítják elektromossággá. A fül érzősejtjei a hangrezgéseket fordítják le a villamos jelek nyelvére. De mit érez egy szaglósejt? Immár évtizedek óta különféle elméletek harcolnak egymással, s még napjainkban sem sikerült pontosan feltárni ezt a különös folyamatot. A szaglóhám érzősejtjeiben fehérjéhez kapcsolódott A-vitamin található. Ez az anyag hasonló szerkezetű, mint a látósejtekben levő fényérzékeny szembíbor (rodopszin), amelynek molekulaszerkezete a fény hatására átrendeződik. Elképzelhető, hogy az illatmolekulák is hasonló kémiai változásokat idéznek elő az érzősejtekben, és így indulnak el a villamos üzenetek az agy felé. Ha igaz is az elmélet, valóságos részleteiről még semmit sem tudunk.

A békák szaglósejtjeinek villamos jeleit tanulmányozva, R. C. Gesteland angol kutató és munkatársai más oldalról közelítették meg a kérdést. Arra voltak kíváncsiak, hogy az orr miként tesz különbséget az egyes szagok között. Vizsgálataik eredménye meglepő felis-



Általában feltételes reflexekkel állapítják meg a kutatók egy állat valamelyik érzékszervéről, hogy milyen ingerekre válaszol. Az illatok esetében azonban a legmegbízhatóbb módszer, ha például a kísérleti béka orrába nedves levegővel vezetik a megfelelő szagot, és parányi elektródokkal fogják fel az illatérző sejtek villamos jeleit

merésre vezetett: minden egyes érzősejt valamennyi illatra érzékeny, csak nem egyforma mértékben. Lehet, hogy egyiknek a teaillat, másiknak a citromillat a „kedvence", de mindegyikükben ingert kelt a citromos tea illata is. Noha mindegyik sejtből más és más alakú villamos jel fut az agyba, ez azután minikomputerhoz hasonlóan ezekből a mozaikdarabkákból állítja össze az illat valódi „névjegyét". Tehát a kutatók szerint minden érzősejt önálló parányi orr. Mindegyikük különbséget tud tenni valamennyi illat között.

R. H. Wright angol kutató viszont abból a feltevésből indult ki, hogy nincs olyan érzősejt, amely több mint ezermillió különféle illatot lenne képes felismerni. Szerinte olyan alapillatoknak kell létezniük, amelyeknek kombinációiból az összes szag felépíthető a citromlétől a tea illatáig, ahogyan már néhány hangból is különféle akkordok csendülhetnek fel a zongorán.

Ha csak egy ilyen alapillatérző sejt lenne az ember orrában, akkor ebből a szempontból mindössze kétféle anyag létezne számunkra: a szagosak és a szagtalanok. Ha viszont kétféle alapillatérző sejttel rendelkeznénk, már négy csoportba sorolhatnánk az anyagokat. Nevezzük az egyik alapillatot *a*-nak, a másikat *b*-nek. Akkor az anyagok negyedére azt mondanánk, hogy *a* illatú, mert csak az *a* alapillatot fedeznénk fel mindegyiknek a szagában. A másik negyedet *b* illatúnak tartanánk, mert ezeknek az anyagoknak a szaga csak a másik alapillatérző sejtünket ingerelné. A harmadik részt viszont *ab* illatúnak éreznénk, mert mind a két alapillatérző sejtünk jelezné szagukat. Végül az anyagok maradék negyedrészére azt mondanánk, hogy szagtalan, mert ezeknek illatában nyilván sem az *a*, sem a *b* alapillatot nem fedeznénk fel.

Ezt a gondolatot folytatva minden új alapillatérző sejttel kétszeresére növekszik számunkra a megkülönböztethető szagok száma. Ha 20-féle érzősejt van orrunkban, akkor már 1 048 576-féle illatot ismerhetünk fel, 30-félénél pedig több mint ezermillió illat megkülönböztetése lehetséges. Ez pontosan olyan, mint ahogy a zongora C-dúr skáláján az első hét billentyű különféle kombinálásával összesen 128-féle összecsendülő hangzatot produkálhatunk. De hogyha 20 billentyűt használunk, már 1 048 576 összhangzat szólaltatható meg (az önállóan leütött billentyűket is beleszámítva).

Az alapillatokat azonban sohasem érzékelhetjük tisztán önmagukban, mert ezek minden szagnak csak egy-egy alkotóelemét jelentik. A kísérletek megdöbbentően támasztják alá ezt az elméletet. Több ezer vegyületet szagoltatva végig különféle rovarokkal, a statisztikai elemzésből kitűnt, hogy a keleti gyümölcsmuslica például csak egy alapillatérző sejttípussal rendelkezik, ezért számára csak szagos és szagtalan anyagok léteznek. A mexikói gyümölcsmuslica azonban már kétféle érzősejttel tájékozódik a világban, a gyapjaslepke pedig négyféle sejtcsoporttal 16-féle illatot ismer fel. A szagmegkülönböztető képesség az alapsejtek számának növekedésével egyre finomodik. A vizsgálatok szerint a béka idegrostjai nyolcféle alapjelet küldenek az agyba, így a kétéltűek 256 illatot különböztethetnek meg, a patkányokban pedig 24 különféle alapillatérző sejttípust sikerült felfedezni, amelyek összesen csaknem húszmillió szag felismerésére alkalmasak.

Ezeknek az alaptípusoknak a villamos jelei egyszerre futnak az agyba, így ott alakul ki belőlük az egységes „összhangzat". S hogy ez a hasonlat mennyire közel jár a valósághoz, arra jellemző, hogy amikor J. R. Hughes és D. E. Hendrix angol kutatók parányi elektródokat ültettek a patkány szagérző idegsejtjeinek rostjaiba, és a magnetofonon rögzített jeleket hangszóróra kapcsolták, az egyes illatokra válaszoló sejtek lüktető villamos jelei úgy szólaltak meg, mintha valaki egyszerre több billentyűt nyomott volna le egy orgonán. Ezt az „illatorgona"-elméletet ma még sok kutató nem fogadja el, de valószínű, hogy a további vizsgálatok újabb részletekkel támasztják alá.

Szimatoló halak

A híres Cousteau kapitány fia operatőrként elkíséri apját minden útjára a *Calypso* kutatóhajón. Érdekes kalandjai közül így számol be az egyik kísérletről, amelynek során halhúsból kipréselt nedvvel 300 méter hosszú illatnyomot hagytak a vízben a cápák szaglásának tanulmányozására: „Nem kellett sokáig

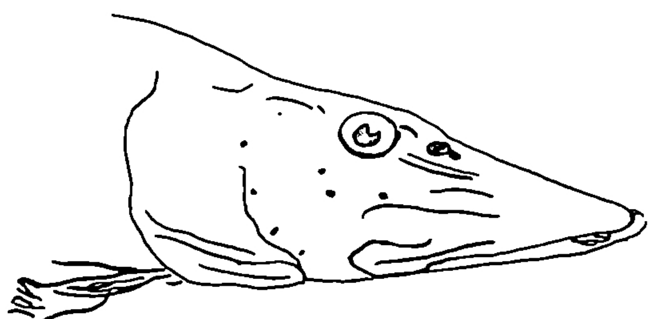


A partra vetett cápa nem éppen barátságos látvány. Kitágult orrlyukaival a vizben messziről megérzi a vér szagát. Úszás közben a víz mindkét fejoldalán a felső orrnyíláson folyik be, majd a szaglólebenyeken átszűrődve, az apró bőrlebennyel takart alsó orrnyíláson távozik. A lebeny mozgatásával a cápa szabályozni tudja orrában a víz áramlási sebességét és ezzel szaglásának érzékenységét is

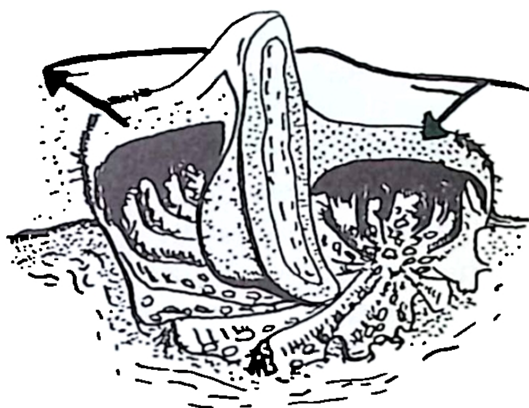
várakoznunk. Szinte egyidejűleg két cápa tűnt fel, fejüket jobbra-balra himbálva, gyorsan, idegesen úsztak. Utánuk négy másik következett, kisebb, legfeljebb egyméteres nagyságú állatok. Mindannyian a világos homokkal borított fenéket súrolták, olyan feszülten figyeltek, hogy jelenlétünket észre sem vették... Minden korallakadálynál fokozódott izgalmuk, hiszen a nyomra ismét rá kellett bukkanniuk, márpedig az örvénylő víz egy kissé megzavarta a nyomokat. Az egész utat háromméteres kitérésekkel, maximálisan nyolc perc alatt tették meg, akár a vadászkutyák, úgy követték a szagnyomot."

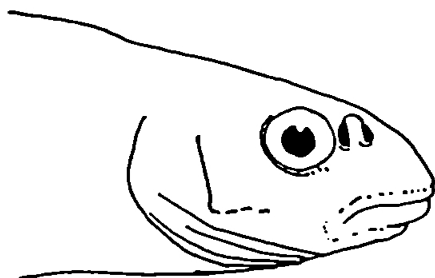
De valóban az orruk után mentek a cápák? A vizek világában a legnehezebb megvonni a határt az ízek és illatok között. Hiszen mindkettő a vízben terjed. Még az sem pontos megkülönböztetés, hogy az illatok a „távérzékelésre", az ízek a „közelérzékelésre" szolgálnak, mert a vízben egyenlő távolságba juthatnak el az illatok és az ízek anyagrészecskéi. De kétségtelen, hogy a kémiai érzékelés döntő jelentőségű a halak számára a táplálék keresésében, a másik nem felismerésében, a szomszédos fajok megkülönböztetésében éppúgy, mint a ragadozók elleni védekezésben, a szülői magatartásban vagy a tájékozódásban.

A kutatók mégsem jönnek zavarba, ha a halak szaglása és ízlelése között kell különbséget tenniük. Minthogy a szagló- és az ízérzékelő szervek jól elkülönülnek az úszó állatok testén, ezért mindaz illatnak tekinthető, amit orrukkal érzékelnek, és csak az számít valódi íznek, amit ízlelőszerveikkel fognak fel. A szaglónyílások általában a szem előtt találhatók, és sohasem torkollnak a

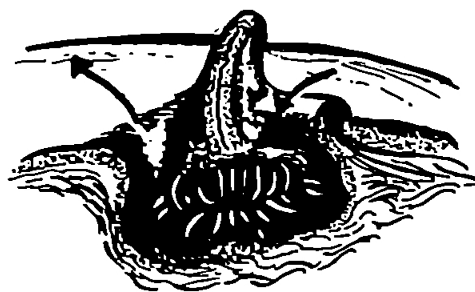


csuka



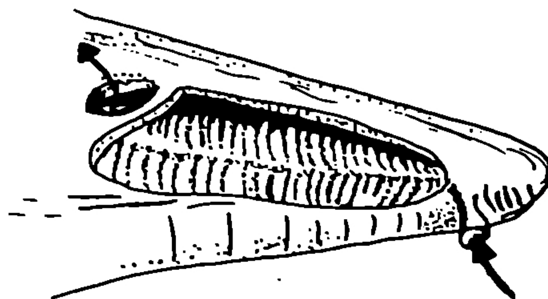


fürge cselle





angolna



A halak fejének mindkét oldalán kettős orrnyílás található. Ezeken áramlik át úszás közben a víz. Az üregben redőzött szaglólebenyek sorakoznak. Minél nagyobb érzékelőfelületet alkotnak, annál könnyebben kap „szimatot" a hal a vízben

garatba. De meglepő módon a halaknak mindkét orrnyílása bizonyos értelemben kettősnek tekinthető: az egyik végén befolyik, a másikon pedig kifolyik a víz. A csukán például csak apró bőrlebeny választja el egymástól az elülső és hátsó orrnyílást. Ha úszás közben a hal kissé megfeszíti ezt a lebenyt, a víz nagy erővel áramlik át ezen az U alakú orrjáraton. Hasonló a fürge cselle orrnyílása is. De a legérdekesebb az angolnáé: a víz a felső ajakhoz közel egy kis nyíláson folyik be, majd szaglóhámmal borított kicsiny lebenyek során szűrődik át, végül a szem előtti nyíláson át távozik. Ahol nagy szaglóhámfelület található (mint az angolnában is), kétségtelen, hogy a hal szaglóérzéke erősen fejlett, a kis felület viszont mindig rossz szaglással párosul (mint például a csukánál).

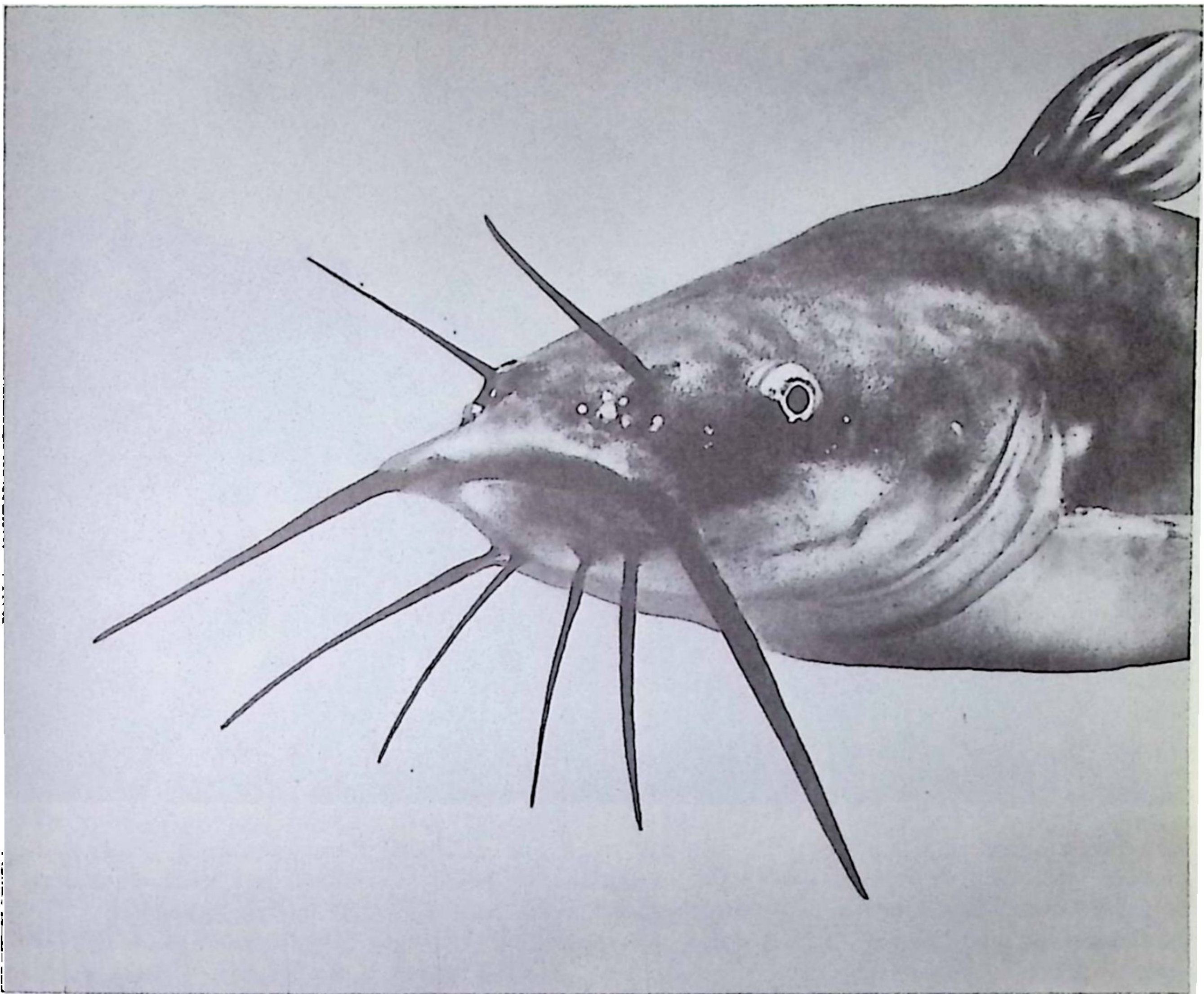
Az ízek és illatok tanulmányozása számos meglepetést tartogat a kutatók számára. G. H. Parker amerikai kutató például a törpeharcsák táplálékkeresési módját vizsgálta, és arra a következtetésre jutott, hogy ezek a halak kitűnő szaglásukkal bukkannak rá a vízben rejtőző élelemre. J. H. Todd megismételte a kísérleteket, de óvatosabb volt. Nemcsak a látásuktól fosztotta meg a kísérleti állatokat, hanem a szaglóidegrostjaikat is elvágta. A törpeharcsák mégis rátaláltak a táplálékra, tehát csak ízérzékelésükre támaszkodtak. De akkor mire használják kitűnő szaglásukat? – tűnődött a kutató.

Egy alkalommal a megvakított kísérleti hal mellé új törpeharcsát helyezett az akváriumba. Az állatok nem éppen barátságosan üdvözölték egymást. Azonnal megkezdődött közöttük a harc, alig lehetett szétválasztani őket. Külön „lakosztály" kellett mindkettőjüknek. De később jött a meglepetés. Amikor a megsebesített, vak állat akváriumának vizéből egy keveset az újonc akváriumába cseppentettek, azonnal feldühödött, mintha vetélytársa jelenlétét érezte volna. A későbbi vizsgálatokból kitűnt, hogy a törpeharcsák személy szerint felismerik egymást az egyéni illatok alapján. Ez a képességük valószínűleg azért alakult ki, mert a tavakban, folyókban kis helyre zsúfolódva élnek nagy tömegben, így állandó kapcsolatban vannak egymással.

Az utóbbi évtizedekben alaposabban vallatóra fogták a kutatók a halak szaglószervét. Arra voltak kíváncsiak, mennyire érzékenyek ezek a különös készülékek. A vizsgálatok szerint a fürge cselle csúfosan lemaradna egy „szaglóversenyben". Csak azt érezné meg, ha a kellemes illatú rózsaolaj egyik fő alkotóvegyületéből, a benzilkarbonilból 80 tonnát öntenének a Balatonba. A szivárványos pisztráng számára viszont elegendő lenne 1800 kg-ot feloldani. H. Teichmann német kutató 1959-ben megtalálta a csúcstartókat is. Legérzékenyebb orruk az angolnáknak van! A rózsaolajból mindössze 0,063 milligramm mennyiséget kellene a vízbe keverni, hogy a Balaton túlsó végén is megérezzék illatát. Bár ez az anyag élettani szempontból nem sokat jelent az angolnák számára, jól jellemzi szaglóképességük határait.

A halak ízérzékelése is kétségtelenül jobb, mint az emberé, bár ezen a területen még sok kutatásra van szükség. P. J. Trudel német kutató már 1929-ben megállapította, hogy a fürge cselle érzékenyebb az embernél a keserű kinin ízére. M. Kinner későbbi vizsgálatai pedig azt bizonyították, hogy a cukor ízét 512-szer kisebb mennyiségben veszi észre, mint mi, sóérzékelésének küszöbértéke pedig 184-szer alacsonyabb.

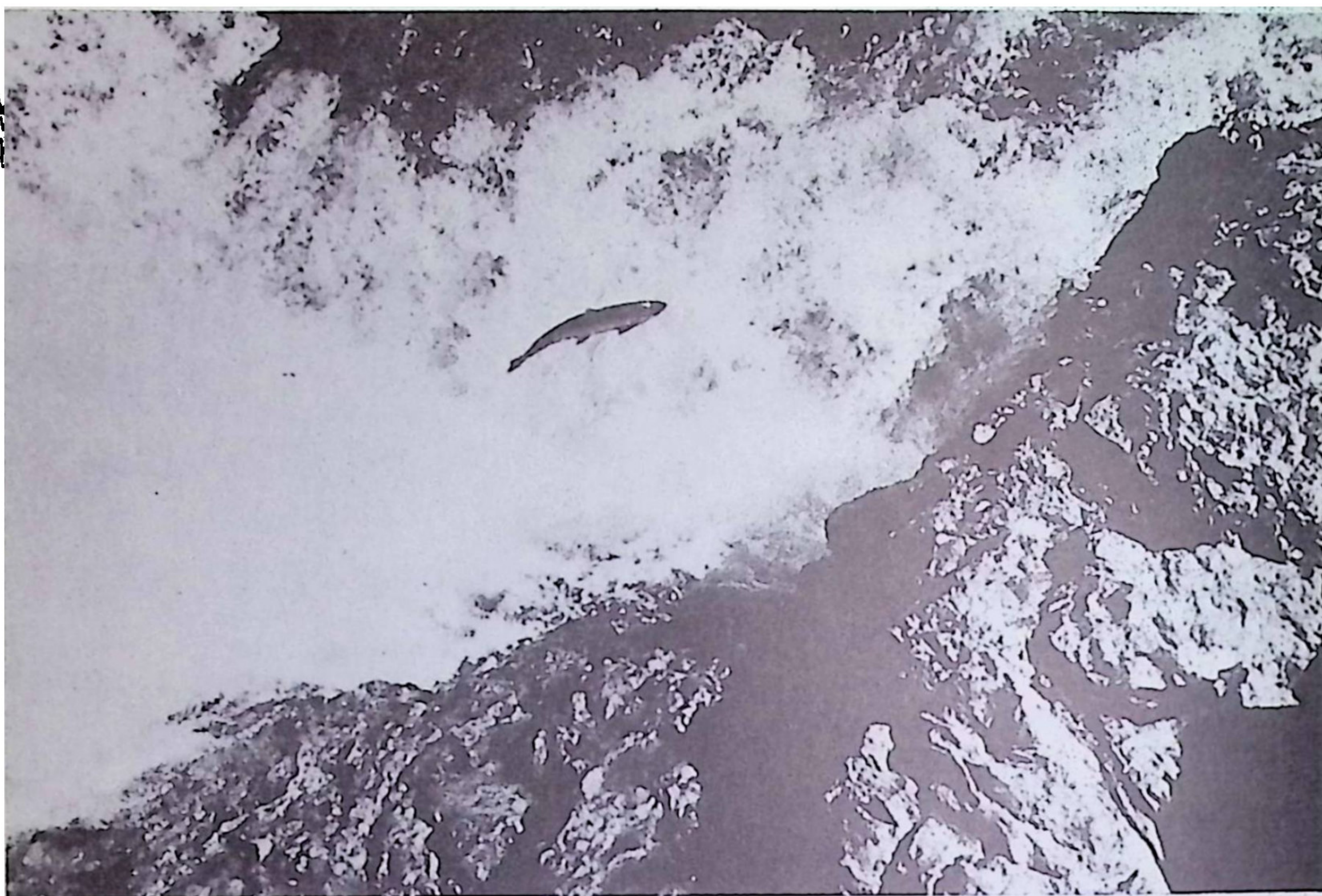
Ha a fürge celléhez hasonlóan a halak általában ennyire érzékenyek a sós ízre, érzik-e a tenger sós ízét? Természetesen



A törpeharcsa nyolc tapogató „bajusza" közül a két legfelső a hátsó orrlyukak mellett helyezkedik el. Íz- és szagérző szerveinek villamos jeleit vizsgálva, a kutatók pontosan megállapították, hogy miként osztályozza a vízben oldott anyagokat. Csak éppen az nem világos, hogy milyen fizikai vagy kémiai jellemzők alapján tesz különbséget a harcsa ízek és illatok között

igen! De nem vesznek róla tudomást. Ahogyan egy csendes szobában olvasva nem halljuk a falióra ketyegését, mert nem figyelünk rá. Az agy kizárja az érzékszervi benyomások feldolgozásából a fül monoton jelentéseit. A központi idegrendszer számára a hirtelen változó ingerek a legfontosabbak. Ha megáll az óra, azonnal észrevesszük, mert felfigyelünk a szokatlan csendre. Ugyanígy a tengeri halak is csak azt veszik észre, ha változik a víz sókoncentrációja, ami például egy édesvizű folyó torkolatvidékének közelségét jelzi.

Valószínűleg finom sóérzékelő képességüket is felhasználják a vándorló halak, hogy hazataláljanak. Holland kutatók megfigyelték, hogy a kis üvegangolnák a tengeri dagályáramlatokkal sodortatják magukat a folyótorkolatok közelébe, az apályhullám idején viszont, amikor a tenger felé folyik a víz, beássák magukat, s a kiáramló édesvíz alapján tájékozódnak. A leghíresebb világvándorok – a



Nászruhába öltözve indulnak ívásra az „otthoni" patak felé a lazacok. Küzdelmes útjuk a rohanó árral szemben vezet sokszor. De úsznak előre, mert hajtja őket az ösztön és szülőhelyük vizének illatemléke. Szaglásuk finomságára jellemző, hogy folyóelágazáshoz érve biztosan tudják, melyik ágban kell úszniuk tovább, hogy hagyományos ívóhelyükre érjenek

lazacok és az angolnák – viselkedését különösen régóta figyelik a kutatók. A lazacok rendületlenül kitartanak furcsa szokásuk mellett, hogy két-három évi tengeri kalandozás után mindegyikük ismét felkeresi annak az édesvizű folyónak vagy pataknak a forrásvidékét, ahol annak idején az ikrából kikelt. Hazatér meghalni! 4–6 ezer km-es vándorlás után itt vár rá a szerelem és a halál. A visszatért lazacok elpusztulnak, de a megtermékenyített halikrákból új élet sarjad.

A legújabb kutatások bebizonyították, hogy a lazacok a tengeri folyótorkolattól akár 30–40 km-rel feljebb is megtalálják szülőhelyük kis folyóágát vagy patakját – jellegzetes illata alapján, amely az ottani növényzet és talaj összetételére jellemző. Az otthon „illatképét" akár hét évig is megőrzik emlékezetükben. Nem felejtenek el a halak egy illatot? Nem! Ezt laboratóriumi körülmények között aranyhalakon bizonyították be H. J. Miesner és R. Baumgarten német kutatók 1966-ban. A kellemes szénaillatú vegyület, a kumarin egy liter vízben feloldott 0,01 grammnyi mennyiségére a kísérleti halak több hónapig emlékeztek.

A lazacok szaglóképességét T. J. Hara japán kutató és munkatársai vizsgálták. Vékony elektródokat szúrtak a szagérző sejtekbe, így vezették el a szaglószerv villamos jeleit. Bármilyen vizet csepegtettek a lazac orrába, nem mutatott sem-

mi érdeklődést. Még ha a szülőhelyével szomszédos patakból származott a víz, akkor sem. Ám abban a pillanatban, amikor a hazai forrás illatát érezte meg a vízcseppben, 50 mikrovolt erősségű villamos jel futott központi idegrendszerébe. Felébredt benne az emlék!

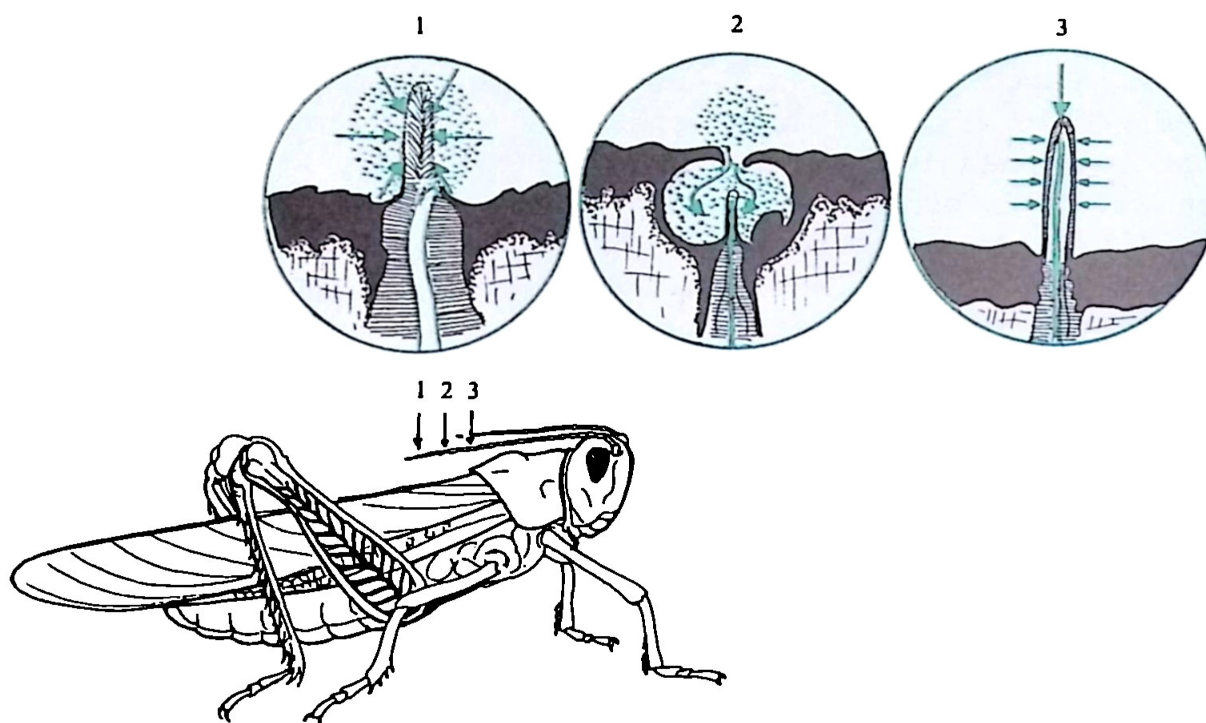
Az illatok sokszor kellemetlenek is lehetnek. A második világháborúban a lelőtt repülőgépek pilótáit nagy veszély fenyegette, ha ejtőernyőjükkel a tenger fölött kellett kiugraniuk. Az ember szagát ugyanis messziről megérzik a cápák, és vészjóslóan gyülekeznek köré. A pilóták ezért érdekes védőeszközt vittek magukkal. Felnyitottak egy konzervdobozt, amely „cápariasztó" szert tartalmazott. Amint a cápák megérezték ennek illatát, azonnal kereket oldottak.

A vízi világ hírközlési rendszerében fontos helyet foglalnak el ezek a jelzőanyagok. Először K. Frisch vette észre 1938-ban, hogy amikor egy tűvel megsértett fürge csellét visszadobott a tóba, milyen zavar támadt a sebesült körül. Mindegyik társa hanyatt-homlok menekült. A későbbi kutatások során kitűnt, hogy a halak bőre alatt olyan szagkeltő mirigyek vannak, amelyeknek tartalma csak akkor kerül a vízbe, ha megsérül a hal. A többiek ezt azonnal megérzik, és rémülten menekülnek. Viselkedésük érthető, hiszen rendszerint ragadozó hal okozza az ilyen sérülést. A friss halbőr 0,1 grammnyi mennyisége 25–150 liter vízben feloldva már érzékelhető számukra. J. R. Reed 1969-ben azt is kimutatta, hogy a ragadozó naphalak, sügérek és csukák közeledését is elsősorban jellegzetes szaguk árulja el már messziről a leendő „zsákmányoknak". J. R. Brett és D. MacKinnon kísérletei szerint még az ember nyomát is észreveszik a halak. Ha valaki csak egy másodpercre nyúl abba a patakba, amelyben a lazacok felfelé úsznak, a vándorok már 100 méter távolságból riadtan megtorpannak, mert megérzik annak a vajsavnak az illatát, amit az emberi bőr választ ki az izzadságcseppekben. Érzékenységük olyan nagy, hogy a Velencei-tó vizében már 20 gramm izzadságcseppre is felfigyelnének.

Felkiáltójel az ösvényen

A Szovjetunió norilszki bányavidékén gázt vezettek ki az egyik bányából, amikor a munkások különös jelenségre figyeltek fel. Óriási felhőben gyűltek a szúnyogok a szivattyú nyílásán kiáramló gázsugárba, amely 6–9 százalék metánt tartalmazott. Más kutatófúrások alkalmával is azonnal megjelentek a szúnyogok, ha földgáz szivárgott elő a talajból. Számukra a metángáz illata kifejezetten kellemes, és már messziről megérzik. Vihar közeledtével a fecskék alacsonyabban szállnak, hogy könnyebben elkaphassák a szúnyogokat. Ez megint a szúnyogok rendkívül finom szaglását bizonyítja: a légnyomás csökkenésével gázok áramlanak ki a talajból, és a parányi rovarok azonnal megérzik a metán jelenlétét.

Emberi szemmel nézve a rovarok szaglószervei különös helyeken vannak: a csápokon, a felső állkapcson és az ajak szélein. Ezek a kémiai érzőszervek (a sensillák) szétszórtan helyezkednek el, ezért ma még keveset tudunk működésükről. E. H. Slifer és munkatársai 1957-ben elektronmikroszkóppal vették szemügyre ezeket a hallatlanul finom „műszereket", így a szöcske csápján kétféle érzősejtet találtak. Vannak vékony „szálacskák", amelyek olyan hosszúak, mint ebben a könyvben egy papírlap vastagsága (0,02–0,05 mm), és keskenyebbek a legfinomabb látható pókfonálnál. Hosszmet-

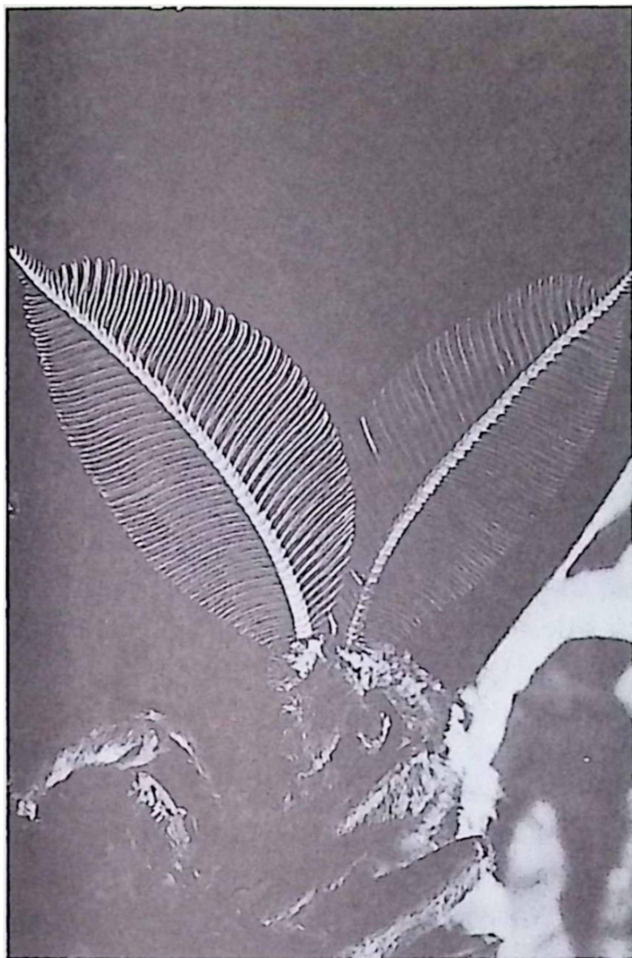


A legtöbb rovaréhoz hasonlóan a sáska csápja is amolyan „mindenes" készülék. Az illatanyagok molekuláit a csáp felszínéből kiemelkedő parányi érzőszálak fogják fel (1). A vastagabb és rövidebb szálak apró üregek mélyén várják az illatokat (2). Az ízérző szálak csak akkor adnak villamos jelzést, ha érintkezésbe kerülnek az anyaggal, amelynek molekulái ilyenkor a szálacska csúcsába hatolnak (3)



Képzeljünk el egy olyan iránytűt, amely mindig a legközelebbi étterem felé mutat, ahonnan jóféle illatok szállnak szét a levegőben. Hasonló iránytűként működik a sivatagi vándorsáska csápja is, amelyen illatérző szálak sorakoznak. Minthogy 10 km^2-es területen akár 500 millió sáska is összeverődhet, nagy szükségük van erre a tájékozódási képességre, ha nem akarnak éhen halni

szetükből az is kiderül, hogy ezek nem tömör hengerek, hanem csövecskék. Bennük parányi idegsejtszálak nyúlnak fel a cső falához, parányi ablakkal tekintve a világba. A vastag „szálacskák" csak feleolyan hosszúak, mint az előbbiek, de másfélszer vastagabbak, és körülbelül 150 parányi ablak található rajtuk. Nem kétséges, hogy ezek az ablakok fogadják azokat a piciny molekulákat, amelyek a levegőből érkeznek. A háziméh csápjain összesen 10 000 sensilla sorakozik, a bögöly 7000, a nektárevő legyek 2000 érzőszálacskával rendelkeznek.



A pávaszemes szövők családjába tartozó atlaszlepke bámulatos érzékenységű antennarendszert hordoz. De ez az „antenna" illatokat érzékel, és a nőstény csábító illatnyomára vezeti a hímet. A csáp érzékenységére jellemző, hogy 1 m^3 levegőben már százbilliomod gramm mennyiségű illatanyagot is észrevesz

A rovarcsápon elhelyezkedő „orrok" (a szaglósejtek) hallatlanul érzékenyek. A nagy pávaszemlepke hímje 8 km távolságból megérzi a nőstény csalogató illatát, ami legalább olyan szép teljesítmény tőle, mintha valaki több mint 270 km távolról ismerné fel kedvesének parfümillatát, és azonnal keresésére indulna. Ehhez a hím lepkék olyan különleges „antennarendszert" használnak, amely már külsőre is erősen különbözik a többi rovar vékony csápjától.

Mennyire érzékenyek a rovarok az egyes illatokra? Keveset tudunk erről is. Annyi bizonyos, hogy a méhek például nehezen vehetik fel a versenyt az ember finom orrával. R. Schwarz német kutató kimutatása szerint bizonyos vegyületeket csak akkor vesznek észre, ha 1 cm^3 levegőben tízmilliárddal több molekula lebeg, mint amennyi az embernek kell a jellegzetes szag felismeréséhez. Igaz, a szegfűszeg illatára emlékeztető eugenol és a citromillatú olaj (a citrál) szagával éppen fordított a helyzet. Ezekre a méhek érzékenyebbek: már akkor észreveszik az eugenol illatát, ha húszmilliárd molekulája lebeg egy gyűszűnyi levegőben. Ahhoz képest, hogy 1 cm^3 normál állapotú gázban $271 \cdot 10^{16}$ molekula van, ez igazán szép teljesítmény!

A rovarok ízérző szerveiről még azt sem tudjuk pontosan, hogy hol helyezkednek el. Csak a kétszárnyú rovarokról, a lepkékről és a hártyásszárnyúakról derült ki eddig, hogy nemcsak a szájuk szélén vannak ízérző szálacskák, hanem még a lábukra is jutott belőlük, ami számunkra legalább annyira furcsa, mintha a kezünkkel is éreznénk az ételek ízét. A rovaroknál az tehát természetes, hogy az ízt is érzik, ahogy lábukkal megfogják a táplálékot.

A közönséges répacukor édes ízét az ember már akkor megérzi, ha egy liter vízben legalább 2,42 gramm kristálycukor van feloldva. Az admirális lepke feleennyit is érzékel: ha lábát ebbe a cukros vízbe mártják, pödörnyelvét azonnal szívásra készíti elő. Sőt ha ki van éhezve, 0,01 gramm mennyiségre is felfigyel. Az eddigi mérések szerint azonban a trópusi danaiszlepke a legnyalánkabb. Egy gyűszűnyi vízben már 0,000 002 5 gramm édességet is megérez. A sós ízre általában nem érzékenyek annyira a rovarok, mint az ember. De a savanyú íz

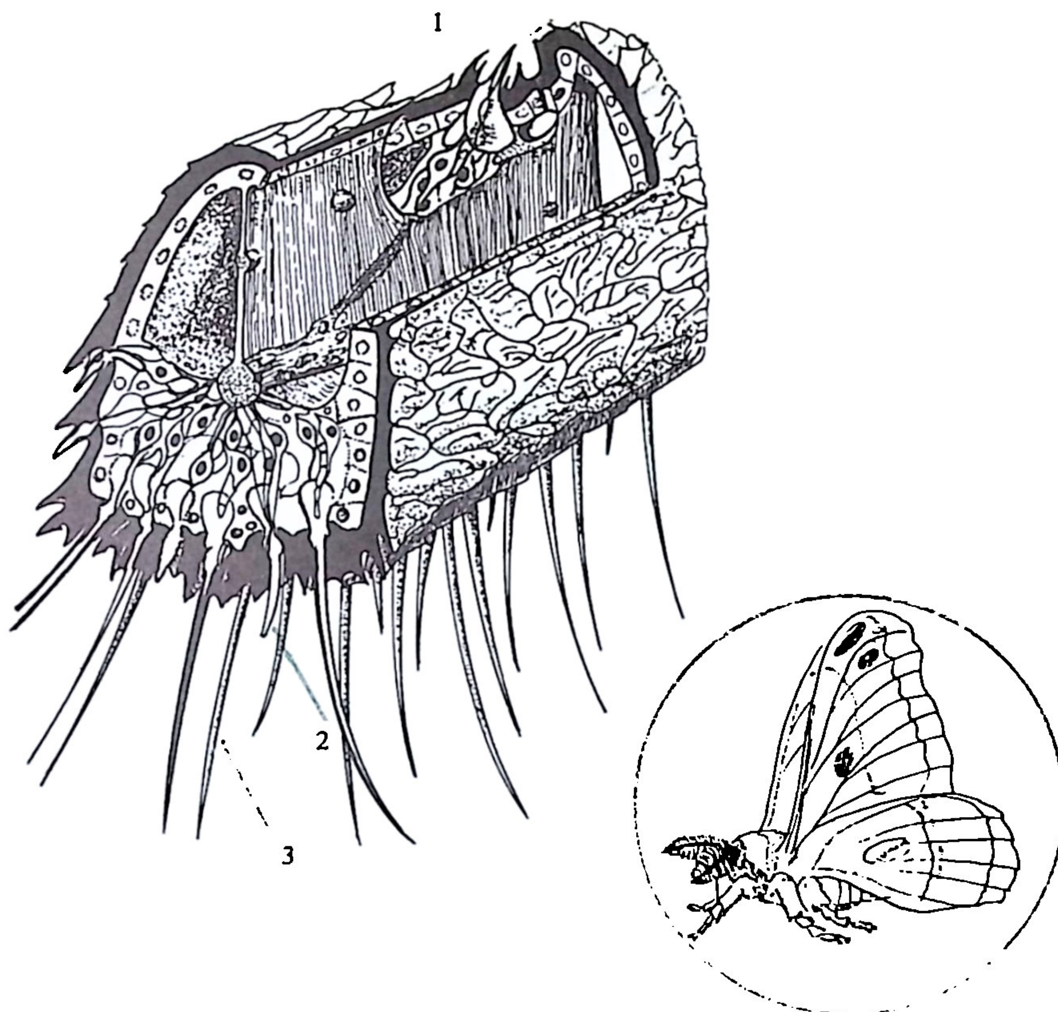
felismerésében például a méhek már megelőznek bennünket. A malárialáz jellegzetes, keserű ízű gyógyszerét, a kinint viszont az ember érzékeli a legkisebb töménységben. Csak a keringőbogarak közelítik meg ebben, de ugyanannyi vízben tízszer több kininnek kell lennie, hogy ők is észrevegyék keserű ízét.

Az illatok alapján a rovarok sokkal nagyobb területen tájékozódhatnak, mint az ember. Kaliforniában egy alkalommal 12 000 tonna olaj borult lángba, s az égő tartályok füstje 80 km-es körzetből vonzotta oda a futóbogaraknak azt a különös nemét (az Amelanophiliákat), amelyeknek egyedei a parázsló és a füstölő faágakra szállnak a legszívesebben. Egyes szövőlepkék 4 km távolságból fedezik fel a nőstény csalogató illatát: amikor a kísérletek során szabadon engedték a ketrecbe zárt hímet, a magasba röppent, és azonnal a helyes irányban indult el. De honnan tudta, merre kell repülnie?

A szagok nem egyenes vonalban terjednek, mint a fény, és nem keltenek „szétpattanó" gömbhöz hasonló hullámokat, mint a hangforrások. Az illat egyenletesen oszlik el a levegőben, hacsak nem sodorja szét valamilyen légáramlat. A rovarok ezekre a kószáló illatos szellőkre figyelnek, vagy pedig csendes időben a molekulák sűrűségeloszlását mérik: minél erősebb az illat, annál közelebb a forrás. Csápjukat valahogy úgy használják, mintha versenyre induló rádióamatőrök volnának, akik a sűrű erdőben elrejtett, „rókának" nevezett rádiadót „becélozzák" hordozható antennájuk forgatásával, és a vétel alapján találják meg a titkos rádióforrást. A keresés egyszerű: minél erősebben szól a hordozható rádió, annál pontosabban mutat az antenna a helyes irányba.

A müncheni egyetem Állattani Intézetében méhekkel végeztek ilyen tájékozódási próbákat, s a kísérletek is ezt az elképzelést igazolták. Y alakú cső alsó szárából cukrosvíz-oldat felé kellett mászniuk a méheknek. Nem sokat tétováztak az elágazásnál. 87,7 százalékos biztonsággal találták meg az édes csőágat. Még fél csáppal is 78 százalékuk indult a helyes irányba, csak a tájékozódás tartott tovább, miközben nyugtalanul lengették csápjukat. Ha a kutatók keresztben rögzítették csápjaikat, a méhek még mindig biztosak voltak a dolgukban. Amikor azonban az antennákat úgy kötötték össze, hogy csak 2 mm-es rés volt közöttük, az „édességvadászok" bizonytalanná váltak. Nyilvánvaló tehát, hogy a két csáp annál biztosabban jelzi a levegő illatsűrűségének „lépcsőfokait", minél szélesebb sávot érzékel a levegőben.

Az illatok a rovar-híradástechnika legsokoldalúbb információközlő anyagai. Wilson angol kutató számításai szerint egyetlen nőstény selyemlepke illata egymillió hímnek adhat hírt! A nőstény fenyődarázsnak sem okoz sok gondot a párválasztás. Egy kísérlet során összesen 11 ezer hímet vonzott magához egy hét alatt. A hangyák a „turistajelzések" terén vitték tökélyre az illatok alkalmazását. Szükség is volt rá, hiszen egy ilyen 5 mm hosszú rovar úgy közlekedik a fűszálak és a kisebb növények dzsungeljében, mintha nekünk 60–70 méter magas őserdőben kellene bolyonganunk. A levélvágó hangyák ezért méregmirigyeikből 5–6 mm-enként parányi illatnyomokat raknak az útra. A cseppek a körömlakkhoz hasonlóan megkeményednek, és gyenge illatot árasztanak. De a legfurcsább, hogy a hangyák még az illatjelzés alakját is felismerik! Ha keresztezik az ösvényt, pontosan tudják, melyik fele vezet a hangyabolyhoz, és melyik a táplálékforráshoz. Ha az ösvénydarabkát a talajjal

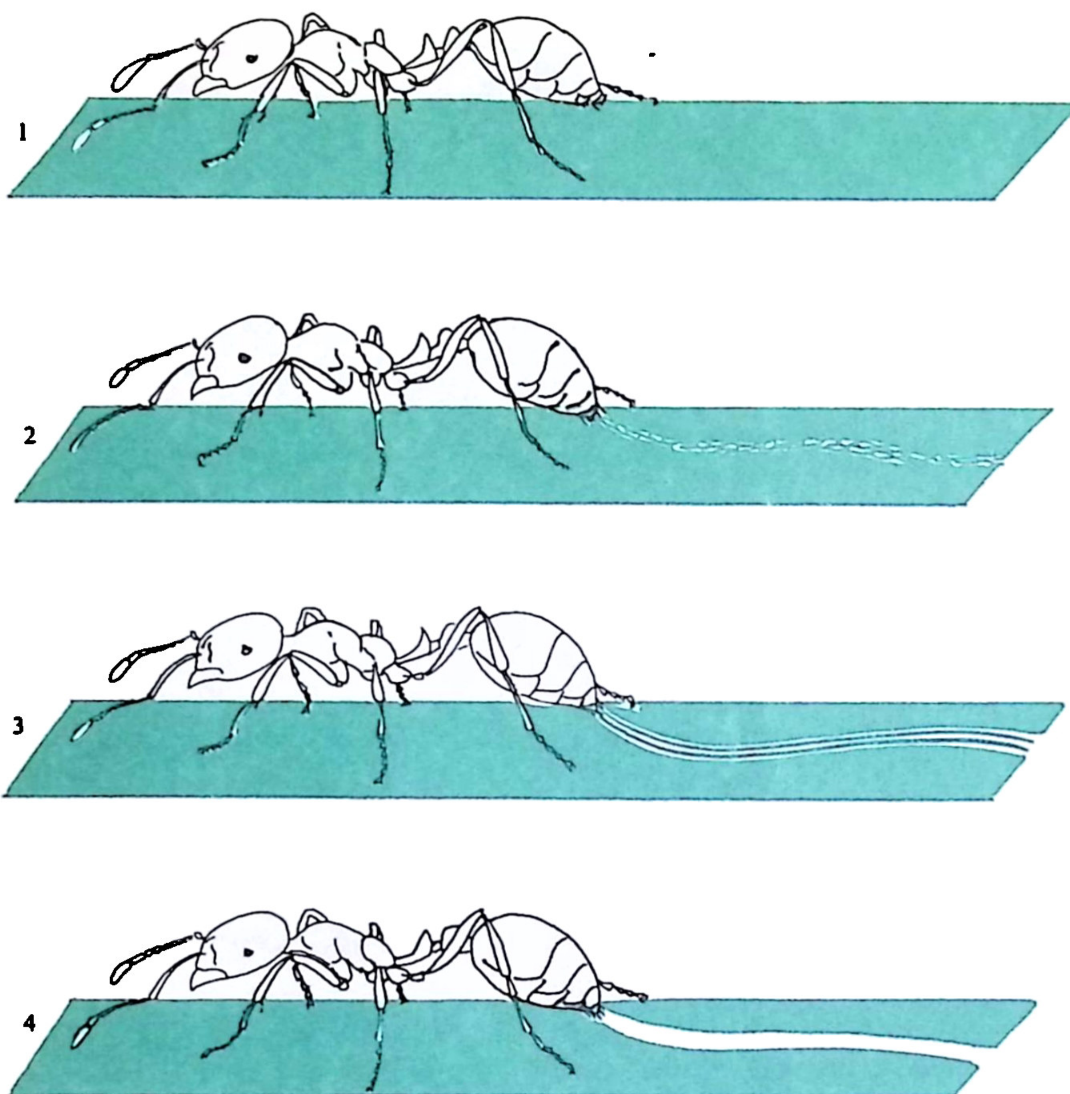


A hím selyemlepke legyezőszerű óriási csápjai a lokátorok antennáihoz hasonlóan pásztáznak a levegőben a jelek után. Ezek a rovarantennák azonban illatokat keresnek. A csáp 0,1 mm hosszú metszetdarabján üregbe ágyazott szálak (1), rövid szálak (2) és hosszú, üreges érzőszálak (3) találhatók. A nőstény illatjelzéseit a 3. típusú szálak fogják fel

együtt kiemelik és megfordítják, a hangya ellenkező irányba indul el.

P. I. Marikovszkij szovjet professzor türelmesen tanulmányozta egy trópusi farágcsáló hangyafaj (Cremastogaster subdentata) gyűjtőútjait. Így fedezte fel, hogy e pirinyó rovarok illatnyoma olyan, mint egy pont nélküli felkiáltójel, amelynek keskenyedő vége mindig a boly felé mutat. A hazafelé ballagó nyomjelző hangya menet közben időnként a talajhoz nyomja potrohát, így egy csepp anyagból kész az illatos útjelzés. A hangyák azután ezeket a jelzéseket böngészik. Lehajtott fejjel, csápjukkal csaknem a talajt érintve haladnak a nyomok mentén, amíg újabb ösvényhez nem érnek.

Napjainkban mesterséges úton is sikerült már több mint húszféle anyagot előállítani, amelyek egy nőstény rovar illatát vagy a kedvelt növények szagát utánozva csalogatják csapdába a kártevő rovarokat. Ilyen módon egyre eredményesebben veszik fel a harcot a tudósok a kártékony szövőlepkék és a gazdasági növényeket pusztító gyapjaslepkék ellen.



Az illatnyom még a tápláléklelőhely gazdagságát is elárulja a parányi ösvények vándorainak. A hazatartó tűzhangya nem hagy nyomot, ha hiába keresett élelmet (1). Érdemes elmenni a táplálékért – ezt jelzik a potroh szőrének gyenge nyomai (2). Még dúsabb a lelőhely (3). Az egész bolynak jut ennivaló – ezt érzékelteti a vastag illatnyom (4)

Amikor a cukor nem édes

Eléggé riasztó látvány, amint egy vízisikló nyugtalanul mozgatja villás nyelvét, de sokkal félelmetesebb, ha például egy vipera teszi előttünk ugyanezt. A legtöbb kígyó még csukott szájjal is képes nyelvet ölteni. A furcsa villa ilyenkor egy apró résen át nyúlik a levegőbe. Tulajdonképpen csak számunkra riasztó a jelenség, mert a kígyó nem akar fenyegetni ezzel. Csupán szimatol.

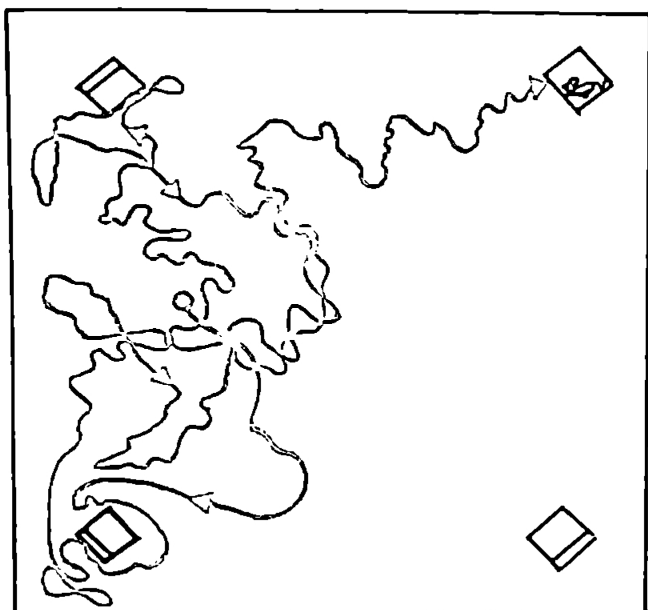
A hüllők szaglása rendkívül fejlett. A kígyók szájában az orrjárat szokásos nyílásán kívül még két kis előrenéző gödör található a felső szájpadláson. A törzsfejlődés során ezek az üregek (az ún. Jacobson-féle szervek) különváltak az orrjárattól, de ugyanolyan gazdagok szaglóidegsejtekben, mint a valódi orr. A kígyó nyelvét (amelynek érintése nem mérgező, mint régebben gondolták) tapintósejtek borítják, de a hüllő akkor is nyújtogatja nyelvét, ha semmit sem akar megtapin-

tani. Ilyenkor ugyanis a nyelvével veszi fel a különféle illatanyagokat a levegőből. A visszahúzott nyelv a Jacobson-féle szervhez továbbítja „elemzés céljából" a rátapadt molekulákat. Úgy látszik, a légzés nem kelt elég erős légáramlatot a kígyó orrüregeiben. Ezzel a megoldással viszont olyan éles a hüllő szaglása, hogy ha megmar egy kisebb rágcsálót, hiába menekül el a sebesült, nem sokáig van biztonságban. A megfigyelések szerint a talajon hagyott szagnyomok alapján a kígyó gyorsan megtalálja.

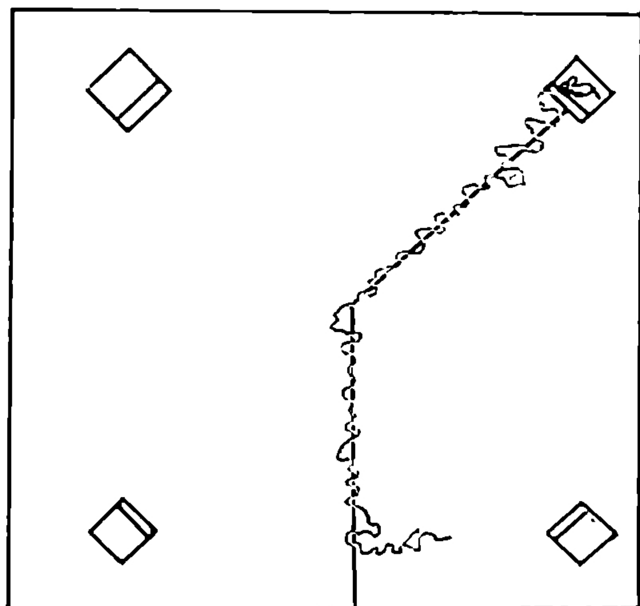
A madarak szaglásáról és ízérzékeléséről még ma sem tudunk sokat. A múzeumi madárgyűjtők azonban érdekes módszert alkalmaznak a nyílt tengeren kalandozó viharmadarak csalogatására. A ravasz vadász egy puskával, egy petróleumfőzővel és egy darab szalonnával száll csónakba. Bekapcsolja az égőt, majd egy serpenyőben megsüti a szalonnát, és evezés közben időnként a vízfelszínre önti a forró zsírt. Alig egy-két kilométert kell eveznie, máris visszafordulhat. Még ha nyoma sem volt a láthatáron tengeri madárnak, most már biztos, hogy a vízen ringatózva keresik izgatottan a zsírnyomokat. A vadász tetszés szerint puskavégre kaphatja valamelyiküket. Az albatroszok és viharmadarak számára valóban létkérdés a jó szaglás, hiszen napokig a kietlen víz felett vitorlázva, csak látásukra és szaglásukra hagyatkozva találhatnak élelmet. Az óvilági keselyűk szaglása sokkal rosszabb. Még a legromlottabb hús szagát sem érzik meg, ha a darab le van takarva egy kendővel. Az újvilági keselyűnek viszont igen jó a szaglóképességük, amit fejlett orrkagylórendszerük is elárul. De a madarak szempontjából végső soron szinte semmi jelentősége



A kígyók alrendjének többi tagjához hasonlóan a vízisikló sem azért öltögeti hasított nyelvét, mintha ezzel bárkit meg akarna ijeszteni. Egyszerűen csak szimatol. Valósággal „felnyalja" a levegőben lebegő illatmolekulákat, majd nyelvét behúzva, a Jacobson-féle szervhez továbbítja őket. Ebben a két gödörben azután szaglóidegsejtek elemzik az illatmintát



1



2

Reménytelenül bolyong az áspisvipera az udvaron, mialatt megsebzett zsákmányát keresi. A kísérletezők a rajzon a jobb felső dobozba tették az egeret, de a kígyó hiába talál rá negyedóra múlva, nem veszi észre a mozdulatlan tetemet, hanem továbbkúszik (ez a nyomvonal már nem látható) (1). Ha azonban a földön húzzák végig a zsákmányt, a szabadon engedett vipera gyorsan rálel az illatnyom alapján (2)

nincs a szaglásnak, legalábbis ez a kutatók jelenlegi véleménye. Ízérzékelésükről is csak annyit sikerült megállapítani, hogy a cukor íze olyan közömbös számukra, mintha kavicsot csipegetnének. Csak az ínyencek – a kolibrik és a papagájok – érzékelik az édességet. A sóval más a helyzet. Ha egy baromfi elé két százalékos sótartalmú vizet tesznek, inkább szomjan hal, de nem iszik egy kortyot sem. A savas és a lúgos víz iránt viszont csaknem teljesen érzéketlen.

Az emlősállatok világában méltán büszkék lehetnek éles szimatukra a kutyák. A. Müller vizsgálatai szerint egy német juhászkutya orrának szaglóhámjában körülbelül 225 millió érzékelősejt van, érthető tehát kitűnő szaglása. Elég az embernek egyetlen másodpercre megérintenie valamilyen tárgyat, hogy a nyomozókutya szimatot kapjon. Végeztek olyan kísérletet is, amelynek során egy szetter tizenegy ember nyomából választotta ki az ismert szagmintájú embert, és kitartóan követte. Napjainkban már érckutatásra is felhasználják a kutyák kitűnő szimatát. Hilda, a szovjet nyomozókutya még aranylelőhelyet is talált.

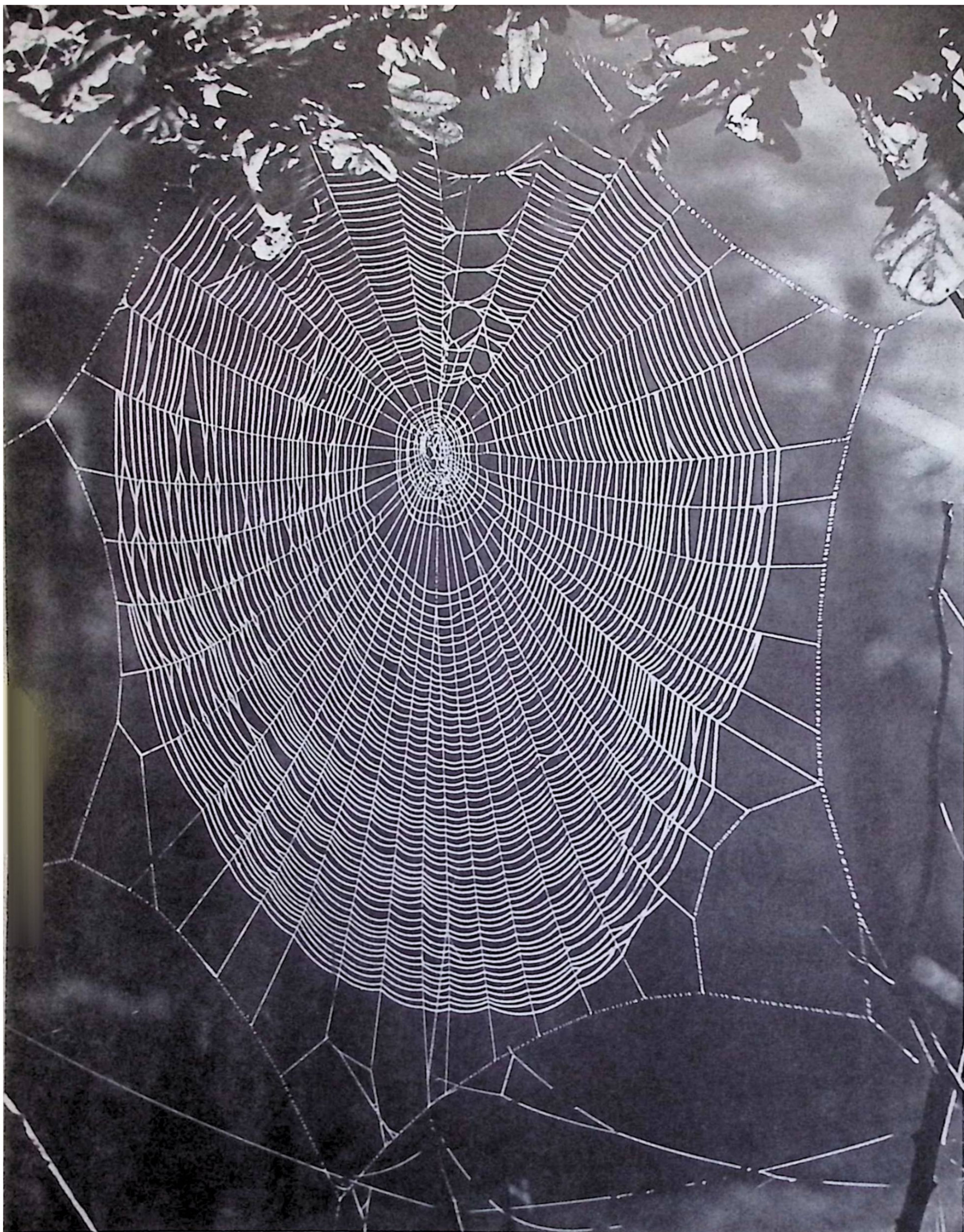
Korunk technikája az első bizonytalan kísérleteknél tart, hogy olyan műszert alkosson, amely valamilyen módon különbséget tesz az illatok között, és mennyiségi mérésre is alkalmas. Chicagóban külön szagkutató központot létesítettek, ahol a levegőben lebegő különféle vegyületek parányi mennyiségeit igyekeznek kimutatni. A legérzékenyebbnek eddig az a lángfotométer bizonyult, amellyel egy köbméter levegőben már 5 milliomod gramm kén felfedezhető. Hordozható műszeres változatával gyárak, vegyipari kombinátok környezetszennyező hatását vizsgálják.

Ez azonban még csak a kezdet. Pontosabban kell megismernünk a szag- és

ízérző sejtek működését, hogy tökéletes mérőműszereket szerkesszünk. S akkor már az illatszergyárakban is sóhajtva abbahagyhatják a munkát azok a szakemberek, akik finom szaglásuk segítségével több ezer anyag illatából keverik össze az újfajta kölniket és parfümöket. Elég lesz egy elektronikus számítógép is erre a feladatra. A szakemberek csak betáplálják memóriatárába a felhasználható vegyületek szagának jellemző adatait, a divatos új illatokat, s a komputer játszva megkomponálja a legkellemesebb illatot.



A technika igyekszik megkerülni az illatok nehéz problémáját. Ha különféle gázok után nyomoznak, jól meghatározható fizikai és kémiai tulajdonságokat keresnek. Ezzel a vérelemző készülékkel például 90 másodperc alatt mutathatják ki a szén-dioxid jelenlétét és mennyiségét.
A vérmintát injekciós tűvel juttatják a műszerbe



Ez nemcsak mesteri alkotás, amely lakóhelyet nyújt a póknak, hanem tökéletes rezgésjelző is. Bárhol tartózkodik rajta a pók, odavezeti a rezgéseket, amelyek jelzik, ha valami belekerült a hálóba. A többi ízeltlábúhoz hasonlóan a pók testét is tapintószőrök borítják

„Hová tettem a szemüvegemet?" – jajdul fel a nagymama nap mint nap. Először a megszokott helyén, a fotelban keresi. Nincs. Azután tűvé teszi érte az egész lakást, de nyoma sincs az okulárénak. Nyomoz már az egész család. Mindenki lázasan kutat, amikor Öcsi véletlenül rápillant a „nagyi" orrára. „De hiszen ott van!" – kiált meglepetten. Csak a nagymama nincs meglepve. Már máskor is előfordult vele ugyanez.

Ilyen furcsán csúfol meg bennünket a tapintóérzetünk. Az állandó nyomási ingert megszokjuk, és észre sem vesszük, ahogyan azt sem érezzük, hogy ruha van rajtunk. Csak akkor figyelünk fel tapintósejtjeink jelentésére, ha például valahol szűk a kabát, vagy szorít az ing nyaka. Az állatvilágban többféle nyomásjelző „műszer" alakult ki a törzsfejlődés folyamán. Vannak olyan érző szervecskék, amelyek közvetlen érintésre küldenek villamos jelzést a központi idegrendszerbe. Más érzékszervek az állandó nyomást jelzik. Ismét mások a lassú nyomásváltozásról, a kis frekvenciájú rezgésekről nyújtanak tájékoztatást.

A környezetről minden állatnak tudomást kell szereznie, hiszen sokszor az életébe kerülhet, ha nem veszi figyelembe a „simogató" ingereket. Már a mikroszkópos méretű víziállatkák is érzékenyek az érintésre. Ha két tárgylemez közt vékony platina huzallal megérintünk egy gyanútlanul úszkáló parányi harangállatkát, azonnal védekező magatartást vesz fel, sőt társait is értesíti valamilyen módon, mert a harangállatkák pillanatok alatt tisztes távolba húzódnak az „ellenséges" platina tűtől. Ugyanilyen érzékenységet mutat a hidra is, ha megérintik valamelyik tapogatókarját.

Rezeg a háló

Az ízeltlábúak világában a pókok rendelkeznek a legfinomabb rezgésérzékelő műszerekkel. Minthogy a hálószövő pókok látása meglehetősen gyenge, ezért inkább tapintással tájékozódnak, sőt „beszélgetnek" egymással. Ha a hálót valaki egyenletes lengetéssel mozgatja, a pók rá sem hederít. Nyilván azt hiszi, hogy a szél motoszkál a hálóban. Ám ha hirtelen megpendítik a háló valamelyik merevítőfonalát, a nyolclábú vadász azonnal izgatottá válik, és felkészül a támadásra. A hálóhoz érintett hangvilla, amely körülbelül a hálóba hullott rovar szárnycsapásainak rezgésszámával rezeg, ugyanúgy kicsalja leshelyéről a pókot, mintha valódi zsákmány vergődne a fonalcsapdában.

Az anyapók még a kicsinyeit is hálórezegtetéssel hívja lakomára, miután a foglyul ejtett rovart sikerült teljesen gúzsba kötnie. De az „ebédcsengő" mellett a vészjelzést is ismerik. Amikor a rovar erőteljesen vergődni kezd, az anyapók – egyik hátsó lábát felkapva – megpendíti a hálót. Az éhes kicsinyek azonnal megtorpannak, majd visszafordulnak. A nőstény pók annyira finom különbséget tud tenni a rezgések között, hogy amikor az

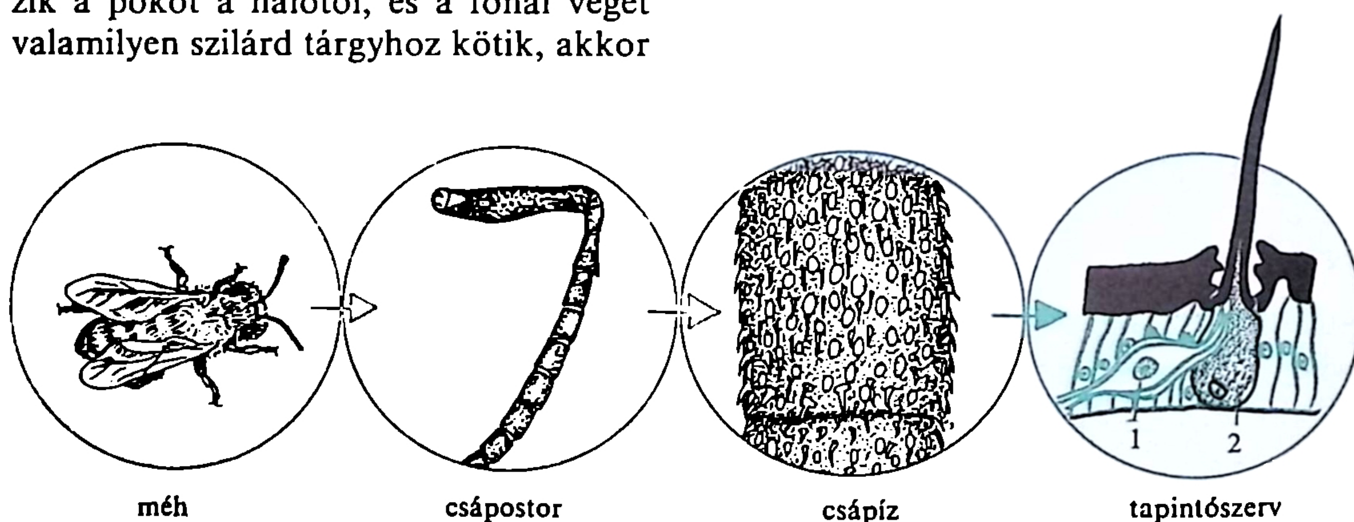
egyik kísérlet során megvakították, felismerte csemetéinek mozgását a hálóban, és nem tévesztette össze őket a hálóba hullott rovaréval.

Más kísérletben a kutatók azt is megpróbálták, hogy a rovarok által okozott hálórezgéseket villamos jelekké alakítva magnetofonra vették. Később egy finom tűvel „visszajátszották" a hálóra a rezgéseket. A pók nem mutatott érdeklődést e jelek iránt. Ez ismét azt bizonyítja, hogy tapintóérzéke hallatlanul finom. Az eredeti és a mesterséges rezgések között ugyanúgy észreveszi a különbséget, mint ahogy mi is meg tudjuk állapítani behunyt szemmel, hogy „élő"- vagy magnetofonhang beszél-e.

Bizonyos pókfajok olyan módszerrel dolgoznak, mint a horgász, aki a damil rándulásából érzi, hogy harap a hal. Ezek a pókok egyetlen jelzőfonalat kötnek a háló közepére, majd a fonal másik végével elvonulnak egy tölcsér formára hajlított levélbe, mintha őrbódéban várnák a zsákmány megjelenését a magaslesen. Ilyenkor egyik behajlított első fogólábukkal tartják a jelzőfonalat. Ha a fonallal és a levéllel együtt kissé távolabb helyezik a pókot a hálótól, és a fonal végét valamilyen szilárd tárgyhoz kötik, akkor sem vesz tudomást a hálóról, ha látja, hogy rovar vergődik benne. Ő csak rendületlenül szorongatja a jelzőfonalat.

A rovarok tapintószervei parányi elektromechanikai műszerekhez hasonlóan működnek. A merev kitinvázas testen szinte mindenütt megtalálhatók, de a legtöbb a lábakon és a csápostoron van. Egyik csoportjuk sebességérzékeny, másikuk nyomásérzékeny. A sebességérzékeny szőrök csak akkor küldenek villamos jelzéseket a központi idegdúcba, ha folyamatosan változik a reájuk ható nyomó- vagy hajlítóerő. A másik csoport érzősejtjei viszont az állandó alakváltozást jelzik éberen, s a rovar nyilván akkor figyel fel rájuk, ha folyamatos jelentésük megszakad.

A termeszek lábain sorakozó érzőszőrök másodpercenként ezer rezgést is észrevesznek a talajon, ha ez legalább százezredmilliméteres kitérésekkel jár. Ez körülbelül olyan érzékenységnek felel meg, mintha egy 170 km magas ember, aki játszva elérné a Föld körül keringő műholdakat, megérezné talpával, hogy alatta egy milliméteres kitérésekkel rezeg a föld.



Ahogyan a környezettel ismerkedő csecsemő mindent kézbe vesz, úgy tapogatnak a rovarok is a csápjukkal. A méh csápostorának egy-egy ízén egymás mellett sorakoznak az illatérző gödröcskék és a tapintó érzőszálak. A parányi „tüske" elhajlása villamos jelet kelt az érzősejtben, ezt továbbítja az idegsejt. (1: idegsejt, 2: érzősejt)

A méhek „tömegtájékoztatási" eszközei a különféle izek és illatok. A testükre tapadó virágpor íze és illata informálja társaikat, hogy milyen virág keresésére induljanak



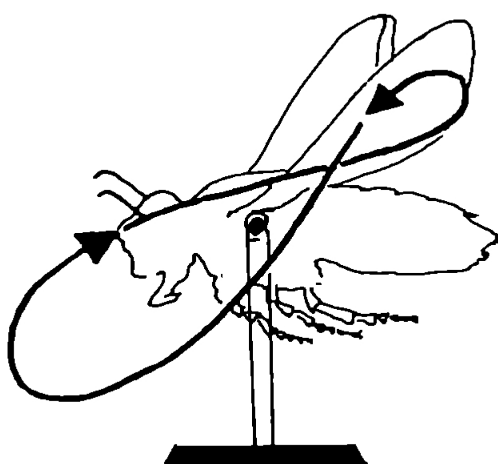
Tökéletes kibernetikai rendszert alkot a méhek csápostora a szárnymozgató szervekkel. Ez a tudományág, amely az önszabályozó rendszerekkel foglalkozik, hasznos tapasztalatokat merített az állatvilágból is. Repülés közben a méhek csápostora pontosan méri a levegő áramlási sebességét, és jelzései szabályozzák érzékenyen a szárnyak mozgását. Így még oldalszélben is a megszokott útvonalon repülhet a rovar

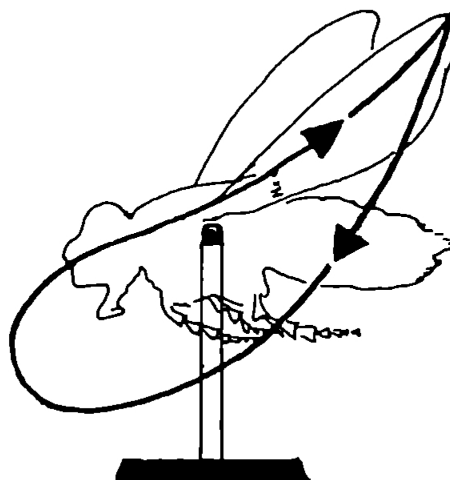
Ha fúj a szél

A rovarok csápján található érzőszálak működését még napjainkban sem sikerült pontosan tisztázni. Ezek egy része az úgynevezett Johnston-féle szervbe tömörül, amelyet a névadó svéd biológus a múlt század végén fedezett fel. Az érzősejtek a csápostor második és harmadik ízének találkozásánál foglalnak helyet, és bármilyen irányban hajlik a csáp, erről azonnal villamos jelentésben értesítik a rovart. A rovarcsáp tehát remek szélsebességmérő is egyúttal.

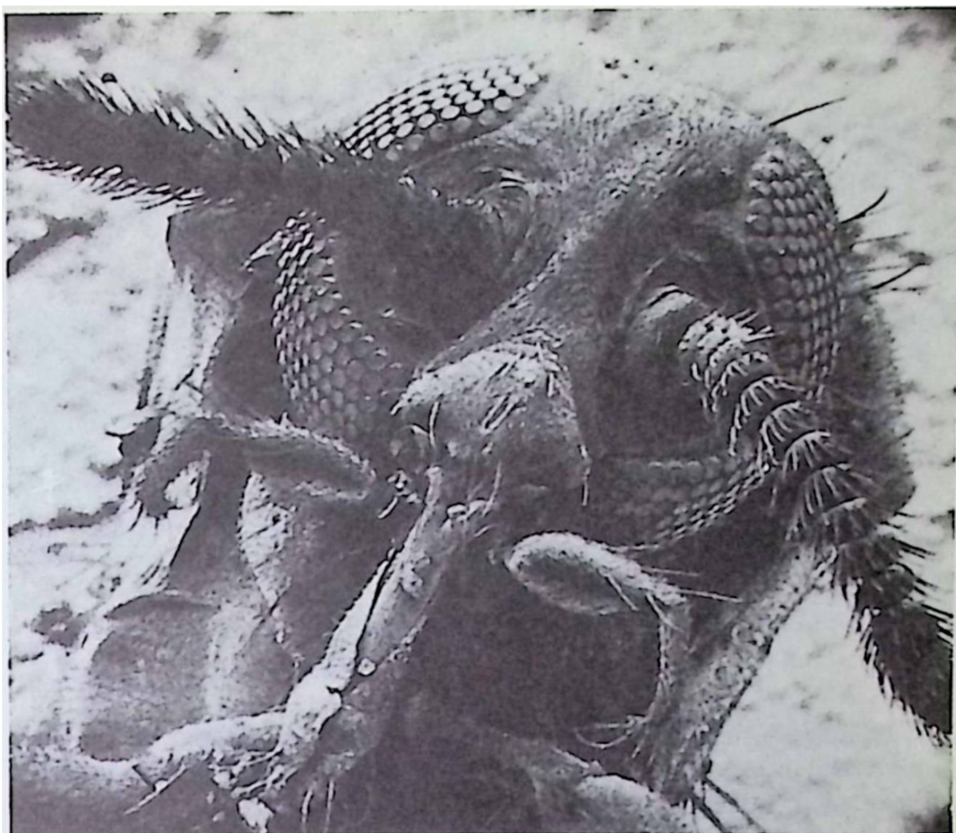
Amikor szél fúj a búzamezőkön, elhajlanak a kalászok. Minél erősebb a légmozgás, annál hátrább dőlnek a karcsú szárak. A rovarok csápja ugyanígy hajladozik repülés közben, a Johnston-féle szerv érzősejtjei tehát a környező levegő torlónyomásáról kapnak tájékoztatást. Ha a háziméh vagy a vándorsáska nyugodt levegőben egyenletes sebességgel repül, összetett szeme előtt a földfelszín alakzatai ugyanilyen sebességgel vonulnak el. Ezt tehát mindig könnyen ellenőrizheti. De ha ellenszélben is ugyanakkora sebességgel akar repülni, mint szélcsendes időben, csökkentenie kell szárnycsapásainak kitérését. Csak így érheti el, hogy erősebb légáramlásban is ugyanakkora előrehajtó erő keletkezzék szárnyain, mint nyugodt időben. Ehhez a „viszonylagos" sebességméréshez van szüksége a rovarnak a csápokra. Ha a két antenna hátrább hajlik, mint szélcsendes időben, ez azt jelenti, hogy erősebb az ellenszél. A Johnston-féle szerv a csápok elhajlása alapján „utasítja" a szárnymozgató izmokat, hogy csökkentsék a csapások erősségét.

Ennek a visszacsatolási rendszernek a létezésére a szélcsatornás kísérletekben figyeltek fel először a kutatók, majd a későbbi vizsgálatok igazolták a csápok sebességmérő és a szárnyak csapásait szabályozó szerepét. Amikor levágták a méh csápostorát, hiába fújt erősebb légáramlat a szélcsatornában, a rovar ugyanolyan nagy kitérésekkel lengette szárnyait, mintha szélcsendben repülne. A fordított szabályozásra is találtak bizonyítékot a kutatók. Parányi acéllemezt erősítettek a méh csápostoraira, majd a rovart nyugodt levegőben felfüggesztették, hogy zavartalanul repülhessen egy helyben. Ez-



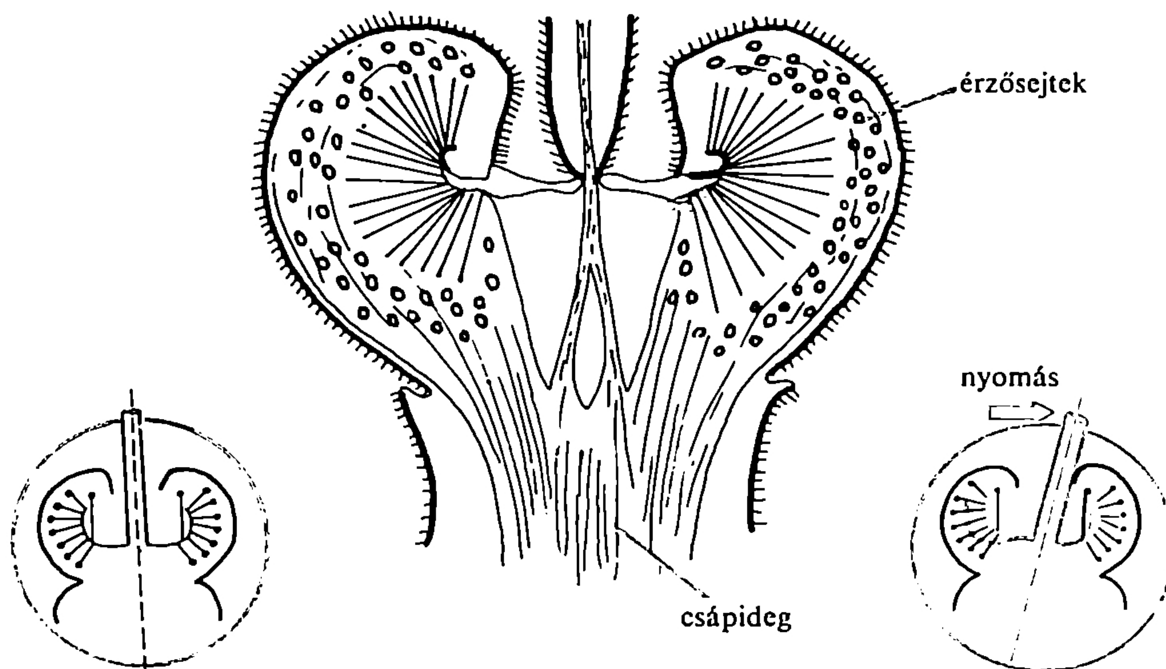


Másodpercenként 1,4 méteres sebességű szélben a laboratóriumi kísérlet során az ismert nyolcas alakban csapkod szárnyával az egy helyben megtámasztott légy. Ha levágják a csápját – és így megfosztják nyomásérzékelő Johnston-szervétől is –, nem tudja szabályozni többbé szárnycsapásait, a szabadban a földre hullana





Ha valaki egy szál hegedűvel a normál *a* hangot játssza egy holdfényes vízparti éjszakán, különös élményben lesz része. Perceken belül óriási szúnyogfelhő veszi körül. Ezeket a rezgéseket ugyanis a szúnyogcsáp felfogja, és a csáp tövében a felfújt autógumi-belsőre emlékeztető parányi Johnston-féle szerv alakítja villamos jelekké (fent). A térhatású elektronmikroszkópos kép jól érzékelteti, hogy gömbcsukló módjára csatlakozik ehhez a szervhez a szúnyog csápja, tehát bármelyik irányban szabadon lenghet (lent)



Hím moszkitó Johnston-féle szerve, amely a csáp tövének közelében helyezkedik el. Benne gyűrű alakban veszik körül az érzőszálak a csáp nyelét. Ha valamilyen irányból nyomás éri a csápot, megbomlik az érzőszálak közötti erőegyensúly. Villamos jelzéseikből állapítja meg a rovar a szél irányát és erősségét is

után mágnessel elhajlították csápjait, mintha nagyobb sebességű légáramlás hatna az érzékeny antennákra. A méh azonnal csökkentette szárnycsapásainak kitérését.

A szárnyrezgések „szerelmi üzeneteit" is a csápostor veszi fel, és egy ütemben rezeg a „dúdoló" nőstény szárnycsapásaival. A 16 napos hím szúnyogok például 400–500 Hz-es levegőrezgésekre válaszolnak a legérzékenyebben, a két-háromszáz napos moszkitók pedig 275–700 Hz-es rezgéstartományban érzékelik a hívogató szerelmi éneket. Ha viszont valaki egy csepp lakkal keni be csápjukat, ahol a Johnston-féle szerv található, egyszerre elvesztik érdeklődésüket a nőstény iránt.

A parányi érzőszőrök továbbfejlesztett változatai felfedezhetők a halakon és az emlősökön is. A harcsa „bajusza" legalább olyan érzékeny tapintószerv, mint az emberi ujjhegy. A mélytengeri halak már olyan hosszú tapintóbajuszt viselnek, amely hosszabb a saját testüknél.

Különösen meglepő látvány az akváriumban keresgélő vörös márna. Úszás közben feje mellett összehajtva tartja bajuszát, de ha táplálék után kutat az akvárium alján, leereszti tapintószervét, és úszás közben mindent lágyan megérint vele. Minthogy a bajuszban különleges merevítőrendszer van, a talajhoz súrlódó része szalagként viselkedik, de függőleges darabja pálcává szilárdul a vízben. Így minél magasabban úszik, annál hosszabb szakasz merevedik meg bajuszából.

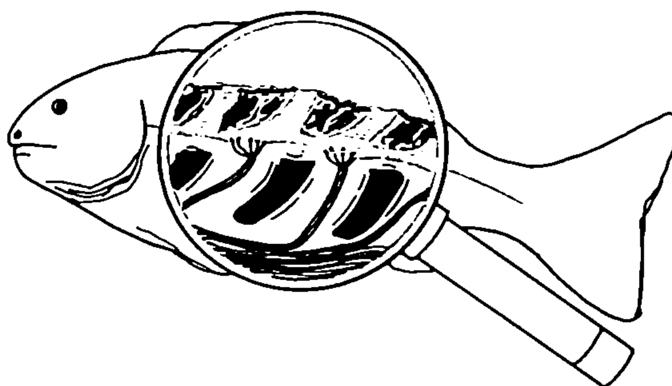
A vízben élő emlősök közül különösen a fókáknak van tekintélyes bajuszuk, amivel zavaros vízben is megtalálják táplálékukat a sziklák között. A legnagyobb bajusszal a rozmárok dicsekedhetnek. Minthogy olyan kagylókkal táplálkoznak, amelyek a tengerfenék iszapjába ássák magukat, a kagyló keresésekor nagy segítségükre van az érzékeny tapintóbajusz.

„Kitapintott" hullámok

A halakon érdekes szerv alakult ki a vízrezgések érzékelésére. Ez az „oldalvonal", amelynek szaggatott csíkja rendszerint jól láthatóan húzódik a hal fejétől a farkáig. A kísérletek ma már egyöntetűen bizonyítják, hogy a vízhullámokat és a nyomásváltozásokat figyelik vele a halak. Dijkgraaf holland kutató fürge csellékkel végzett kísérletek során kimutatta, hogy ha az akváriumban vízsugár éri oldalról a halat, abba az irányba fordul. W. Wunder német kutató viszont megvakított csukával és angolnával kísérletezett: az éhes csuka 5–10 cm-ről észrevette a vergődő halat, és sikerült is megszereznie a zsákmányt, az angolna pedig egy rezgő tárgyat követett kitartóan az akváriumban. A fürge csellék pusztán a nyomásváltozások alapján meglepő pontossággal „bemérik" egy rezgő korong helyét a vízben.

Az oldalvonal voltaképpen rugalmas csatorna, amely a hal bőre alatt húzódik, és helyenként apró nyílások kötik össze a testfelszínnel. A csatornában parányi kocsonyás csomók (kupulák) találhatók, amelyeket ide-oda mozgat a rugalmas csőben áramló víz. De hogyan szerez tudomást a hal a víz nyomásváltozásairól? Valahogy úgy – kissé távoli példával –, ahogy egy fűbe helyezett labda ingadozik a szélben, és hol erre, hol arra dönti meg maga alatt a fűcsomót. A kupula ilyen érzőszőrök csoportjain fekszik. Minden csoportban a leghosszabb érzőszőr csupán 7 ezredmilliméter, átmérője 1,5 ezredmilliméter, s ehhez 35 kisebb szőrsejt csatlakozik, lépcsőzetesen rövidülve, mint az orgonasípok.

Ha a kocsonyás kupula a vízáramlástól úgy billen el, hogy egymásra nyomja a „lépcsőket", akkor az érzősejtekből az alapjeleknél gyengébb villamos feszültség



A halak „oldalvonala" a víz nyomásváltozásait érzékeli. A bőr alatt húzódó csatornát apró mellékágak kötik össze a testfelszínnel. Ha a csatornában áramlani kezd a víz, ezt azonnal megérzik a benne lengő apró, kocsonyás csomók. Az oldalvonalat az a nyomásváltozás ingerli a legerősebben, amely vele párhuzamos irányban hat

fut a hal agyába. Ellenkező irányú billenésre viszont a szálak legyezőszerűen szétnyílnak, és növekvő feszültség keletkezik bennük. A feszültség nagyságából tehát a hal következtetni tud a vízáramlás irányára és sebességére. Ez annál könnyebb számára, minthogy két-két „lépcsősor" egymással szemben foglal helyet, így a kettő közül mindig éri inger valamelyiket. A. Sand elektromos mérései alapján bizonyos, hogy az érzősejtek olyan gyorsan jelzik a nyomásváltozásokat, hogy akár a vízben terjedő hangokat is felfoghatják. De nagyon valószínű, hogy az oldalvonallal felvett infrahangokat a hal csupán rezgésekként érzékeli, mert a valódi halláshoz ott van számára a belsőfül teljes rezgéselemző rendszere.

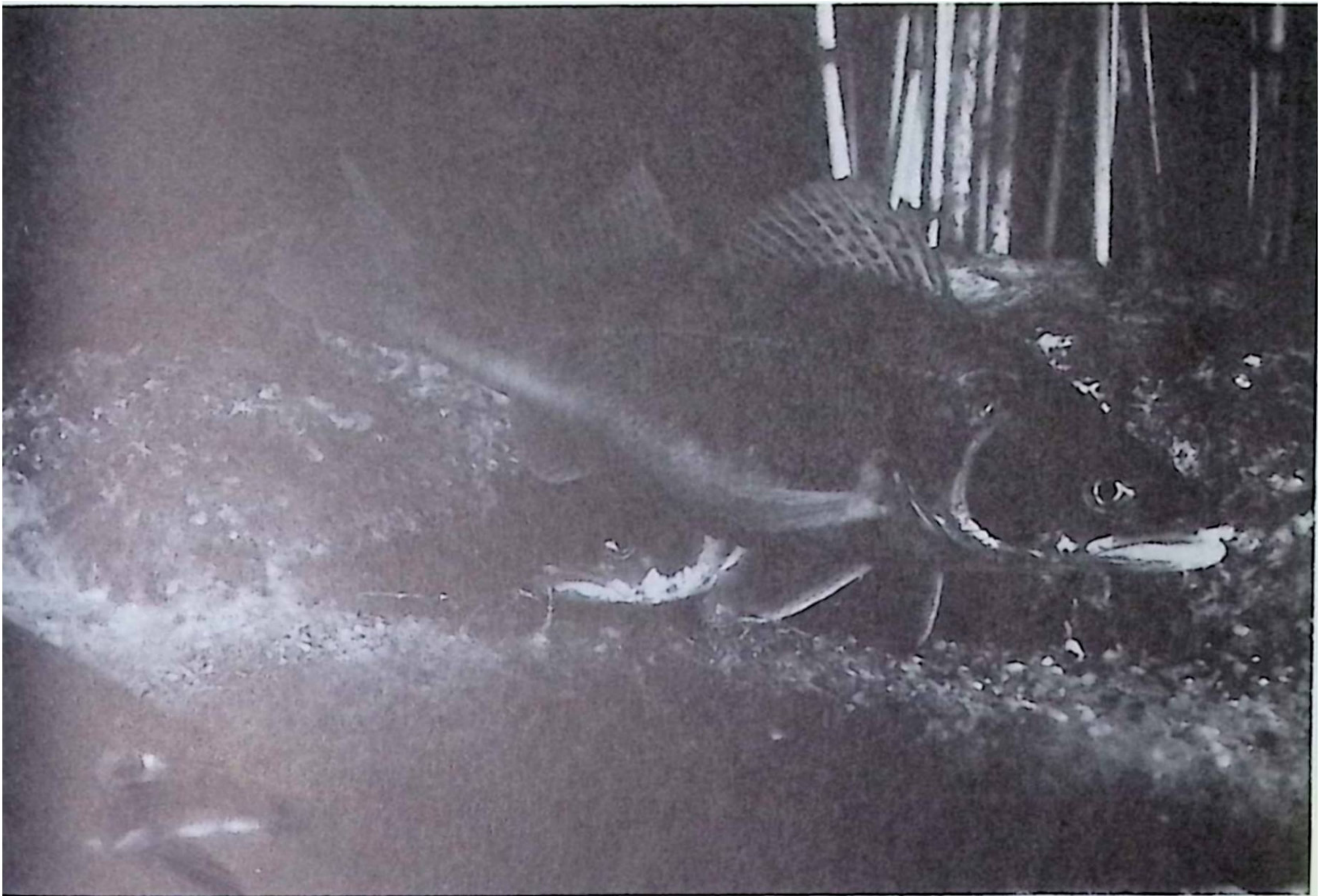
Amit az oldalvonal mikroszkópos szerkezete sejtet, azt a gyakorlati mérések is igazolják. V. R. Protaszov szovjet kutató és munkatársai a halak oldalvonalának nyomásérzékenységére voltak kíváncsiak. Egy akváriumban rezgő lemezzel felületi vízhullámokat keltettek, majd a pontyfélékhez tartozó compókat és a pirosszemű keléket fogták vallatóra, hogy milyen mélységben érzékelik még a vízfelület rez-

gését. A vizsgálatokból meglepő érzékenységre derült fény: a halak annál könnyebben vesznek tudomást a felszíni hullámokról, minél kisebb szöget zár be oldalvonaluk a hullámok haladási irányával.

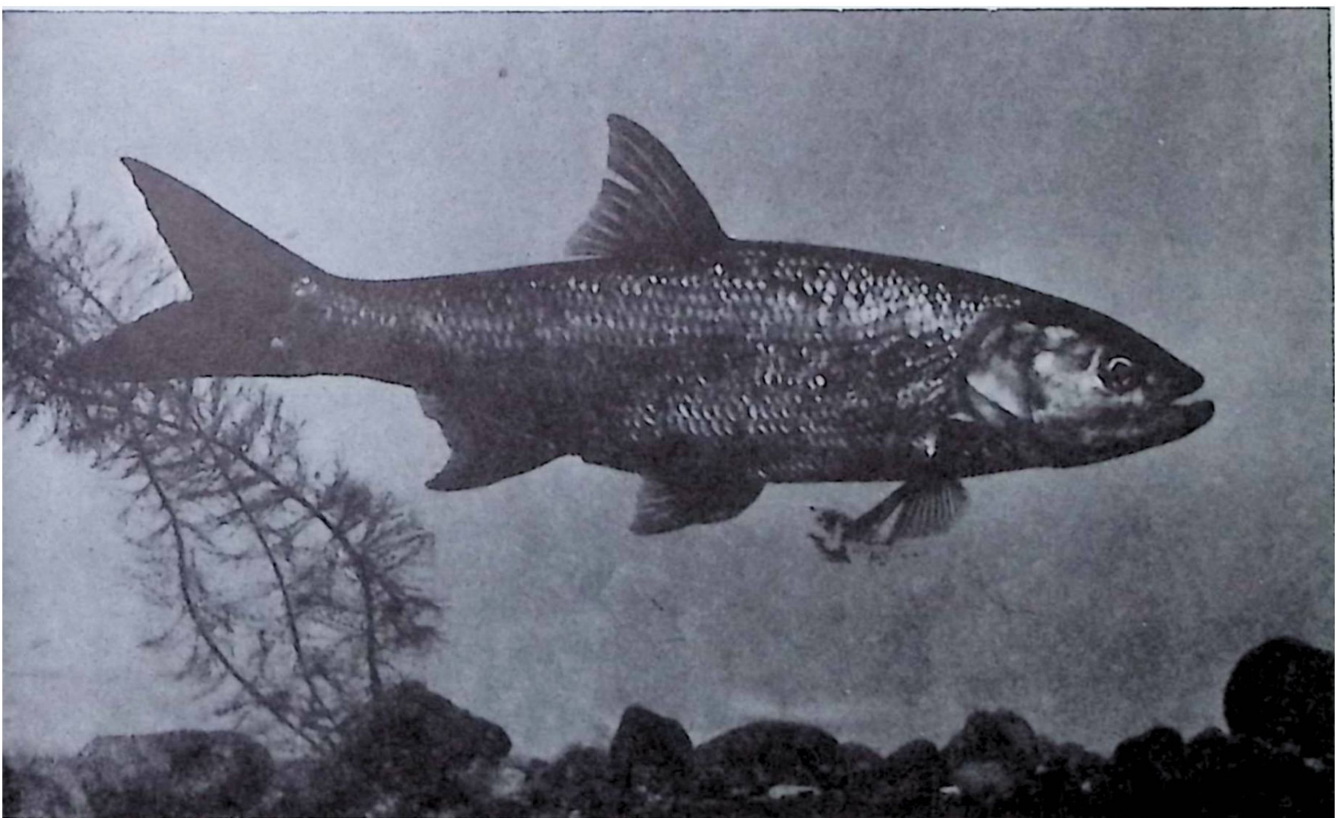
A kísérleti berendezésben 100 mm hosszú és 7 mm magas hullámokat állítottak elő. A compók már 177 mm mélységben megérezték a vízfelszín mozgását, ha a hullámok éppen párhuzamosan haladtak oldalvonalukkal. De ahogy testük hossztengelyéhez képest elfordult a hullámok iránya, úgy csökkent érzékenységük is. Az oldalvonalukra merőleges hullámokat egyáltalán nem érzékelték a víz alatt. A szovjet kutatók számításaiból kitűnt, hogy a compók rezgésérzékelő szerve már azt is érzékeli, ha a vízrészecskék mindössze tízezred milliméterrel mozdulnak el a felszíni hullámok hatására.

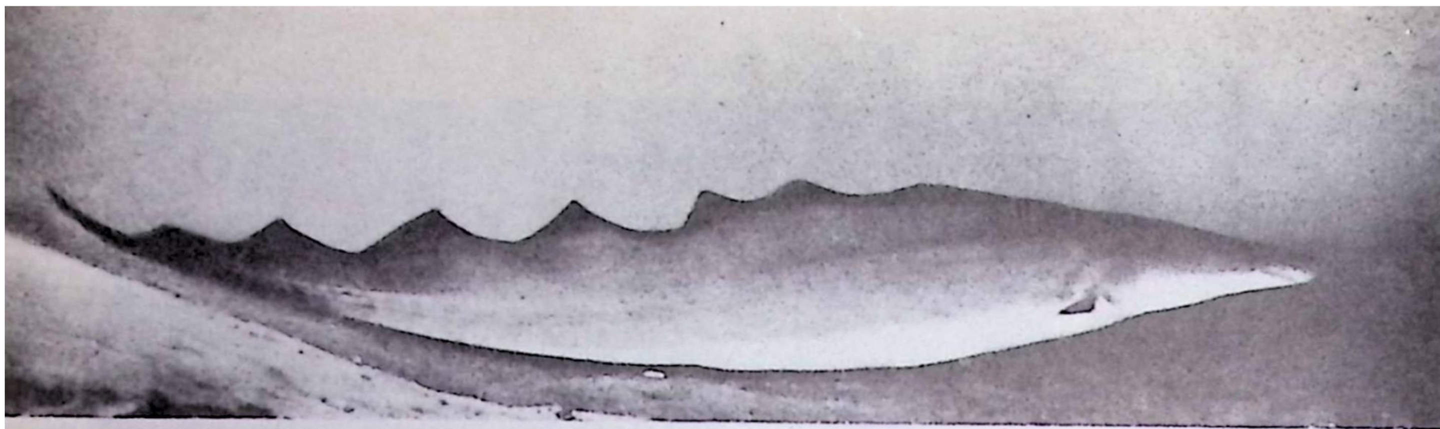
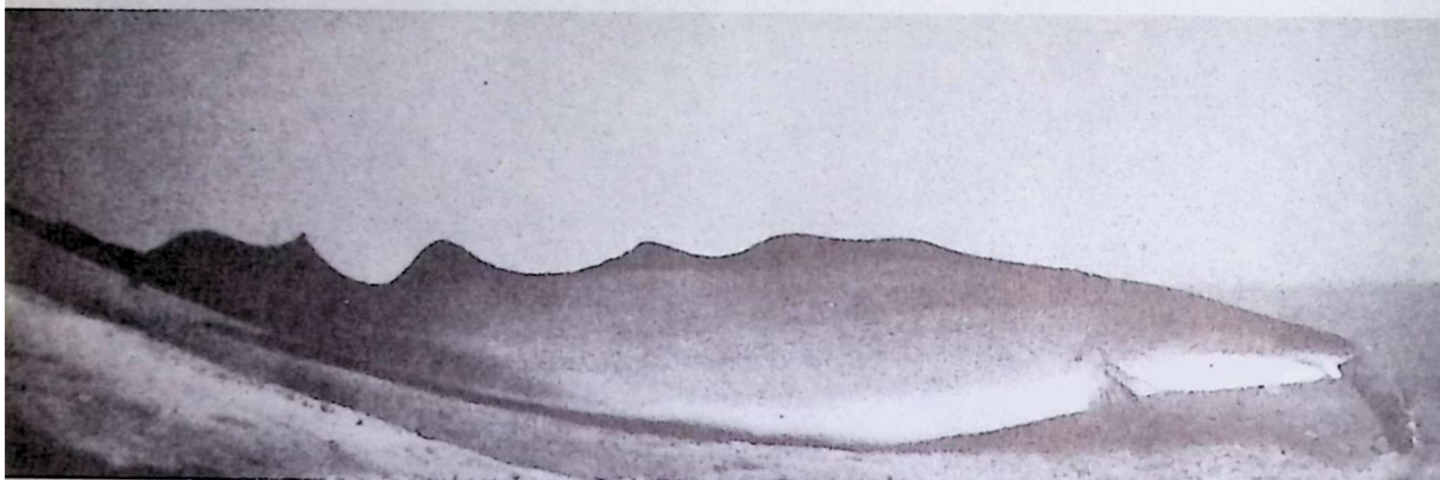
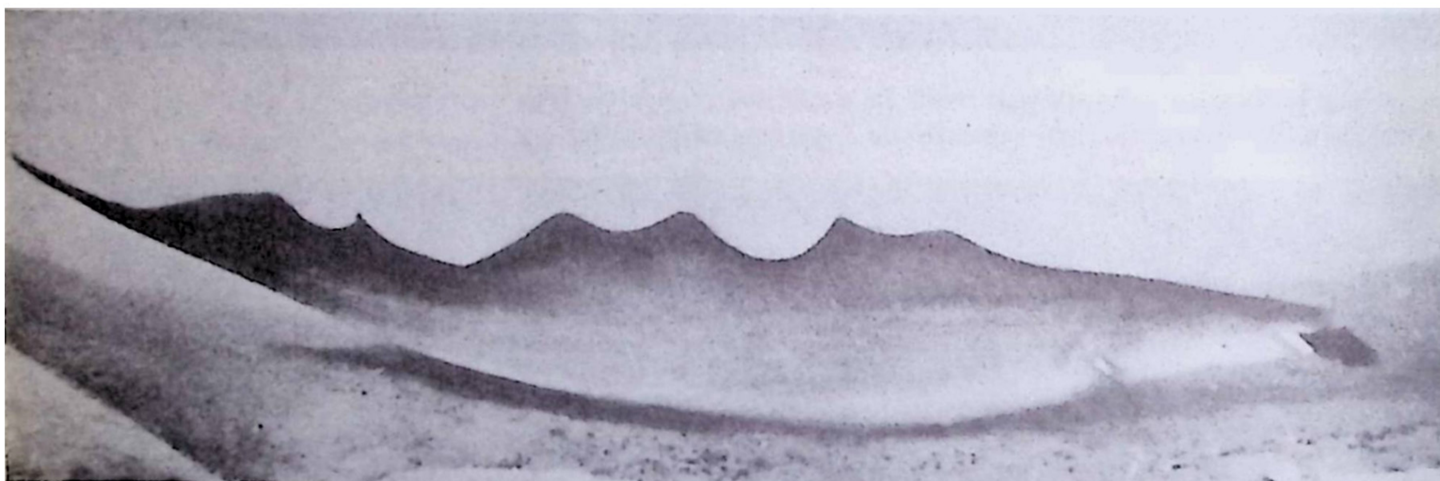
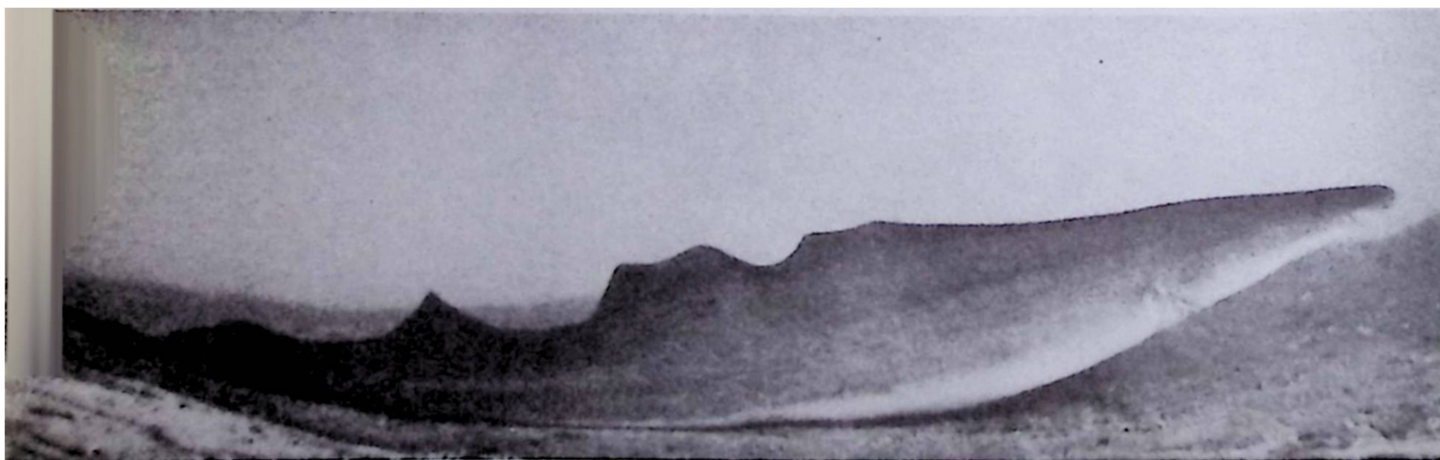
A pirosszemű kele még érzékenyebbnek bizonyult. Az oldalvonalával párhuzamosan haladó 9 mm magas és 4 Hz-es felszíni hullámokat már akkor is jelezte, ha 200 mm mélységben a vízrészecskék mindössze 70 milliomod milliméteres kitéréssel mozogtak oldalvonala mellett. Bizonyos tengeri halak a mérések szerint még 500 méteres mélységben is megérzik, ha a felszínen 3 méter magas, 100 méter hosszúságú hullámok vonulnak velük párhuzamosan. Ez az érzékenység valószínűleg nagy segítség a vándorló halak tájékozódásában is. Vannak olyan állandó áramlást keltő szelek, amelyek hatására az Afrika partjain keletkező hullámok az Atlanti-óceánon végigsöpörve, egyenesen Amerika partjaihoz jutnak el. A halnak tehát csak ezeket az állandó „hullámutakat” kell figyelnie, hogy tájékozódjon. Az oldalvonal működésének tisztázása valószínűleg még sok meglepetést tartogat a szakemberek számára.

Jól látszik az oldalvonal a hazai vizekbe betelepített ezüst kárászon

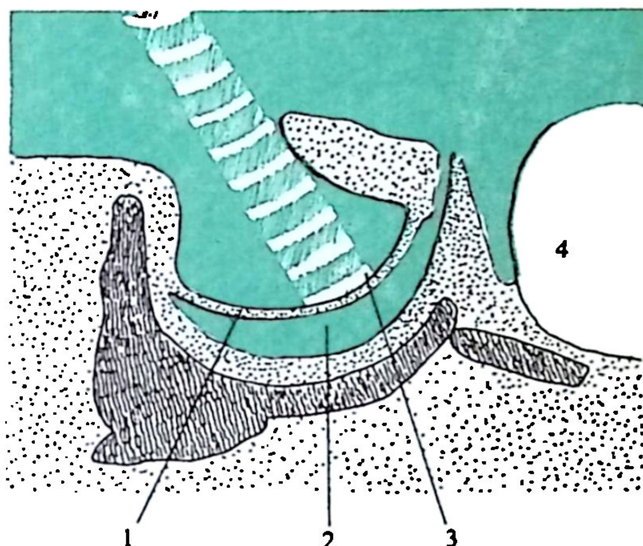


A „rabló" halak nagy pontossággal mérik be a zsákmányt oldalvonaluk segítségével. (Képünkön fent fogassüllő, lent ragadozó ön vagy más néven balin)



Ha valaki játékos „ki mit tud" versenyt rendezne az állatvilágban, egyetlen állatfaj sem akadna, amely ne tudna benevezni valamilyen ötletes találmánnyal. Évmilliók folyamán a létfenntartásért folytatott küzdelemben minden állat csak a nehézségek legyőzésére legalkalmasabb megoldással maradhatott életben, és szaporodhatott tovább. Számunkra különösen azok a milliós példányszámú „szabadalmak" a vonzóak, amelyeket még korunk technikájának sem sikerült ugyanolyan tökéletesen kivitelezni, vagy pedig egészen más eszközökkel és szerkezetekkel dolgozunk, mint az állatvilág. Ezekből a különös találmányokból mutatunk be most egy csokorra valót, amely a tarka virágok rendezetlenségéhez hasonlóan sejteti, hogy a természetben még millió-nyi színes ötlet vár a kíváncsi kutatókra.

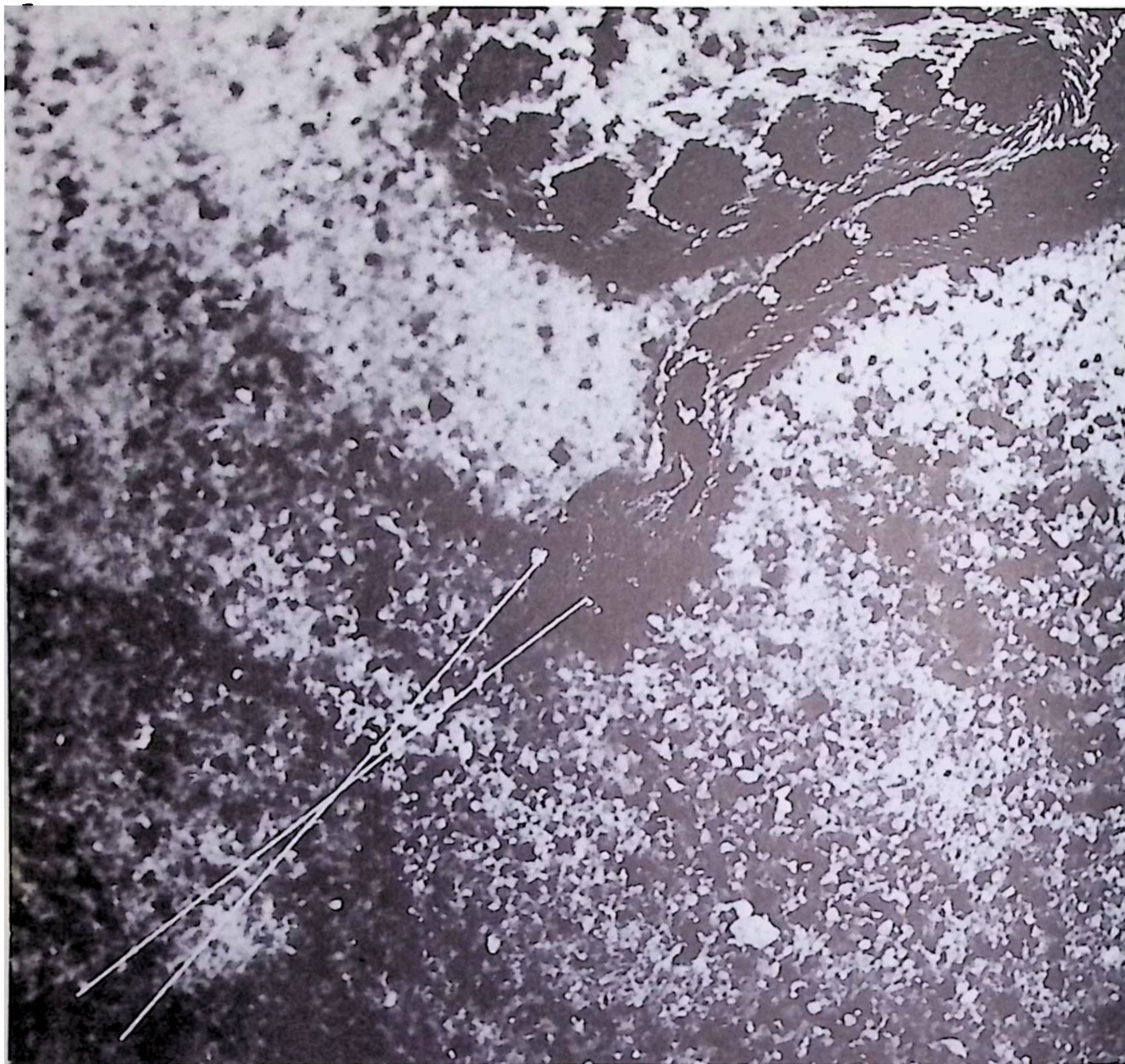


A viperafélék családjában a kígyó szeme előtt található a hőmérő szerv 3 mm mély ürege. A hősugarak felmelegítik a hártyát, amelyben érzősejtek sorakoznak. A kígyó a környező nyugodt levegő hőmérsékletéhez viszonyítva „méri" az infravörös sugarak energiáját. (1: hőérzékelő hártya, 2: nyugodt levegő, 3: felmelegedett levegő, 4: szem)

Különleges érzékszervek

Csak az utóbbi évtizedben sikerült olyan hőmérőt kidolgozni, amely 10–20 méter távolságból 0,1–0,2 C fok pontossággal jelzi a tárgyak hőmérsékletét. Ilyen hozdozható infravörös készüléket használnak például a nagyfeszültségű villamos vezetékek veszélyes túlmelegedésének mérésére. A kígyók viszont évmilliók óta rendelkeznek hasonló távhőmérővel. A viperafélék családjába tartozó halyskígyó szemei és orrlyukai között egy-egy nagyobb üreg látható a koponya mindkét oldalán. Ezek a hősugár-érzékelő gödrök! Mindegyiket 0,025 mm vékony hár-

Láthatatlan villamos erővonalak veszik körül a nílusi csőrösszájú hal testét, amikor elektromos lokátora másodpercenként 300 jelet bocsát ki. Ha egy gyanútlan hal megzavarja az erővonalak egyenletes ritmusát, a nílusi vadász felkészül a fogadtatásra. A képsorozat azt bizonyítja, hogy ez a találkozás nem végződött szerencsésen a kis hal számára



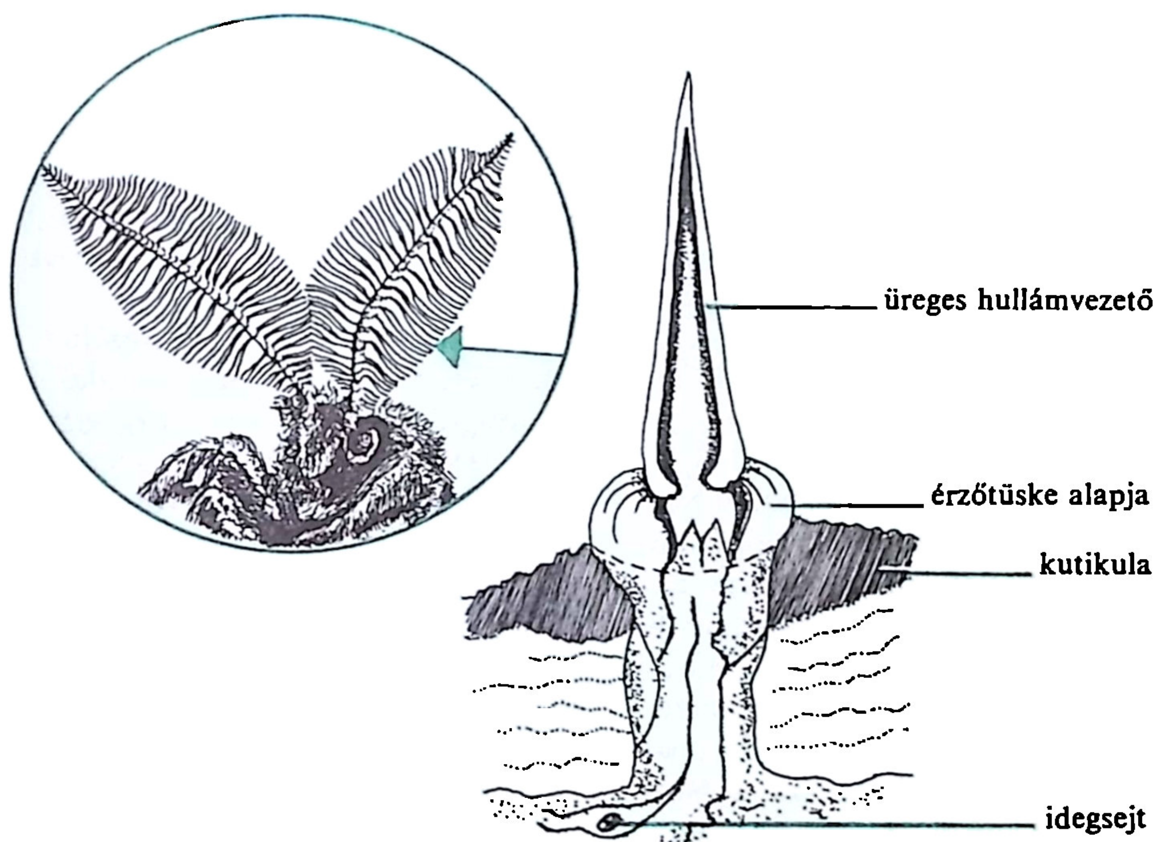
A viperafélék a szemük előtti gödör hőérzékelő hártyáján fogják fel az infravörös sugarakat. Talán rossz látásukat segíti ez az érzékszerv. Ha a halálra vált rágcsáló a kígyó láttán ösztönösen megmerevedik, testének hősugarai elárulják jelenlétét. Minthogy az infrasugár-érzékelő páros szerv, nem lehetetlen, hogy a kígyó nemcsak áldozatának irányát, hanem távolságát is meghatározza

tya osztja két részre. Ennek egyik felén a környezet állandó hőmérsékletét, a másik felén a rásugárzó meleget érzékeli a kígyó. A hőmérséklet-különbség alapján megfelelő jelzés fut a kígyó agyába. Ilyen módon a kígyók 0,001 fok különbséget is megérezhetnek. S minthogy ez páros érzékelőszerv, még a sugárforrás helyét is bemérhetik a sötétben, amikor rémülten lapuló, kisebb rágcsálókra vadásznak. Egy kísérlet során a halyskígyót megfosztották látásától, hallásától és szaglásától, mégis megérezte, amikor fekete papírba burkolt villanykörtét közelítettek felé. Harapása biztosan célba talált. Th. Bullock és R. Cowles amerikai kutatók sze-

rint a kígyók hőmérője a 0,01–0,15 mm hullámhosszúságú infravörös sugarakra a legérzékenyebb.

Bizonyos halak viszont a gyenge villamos teret érzékelik. A nílusi csőrösszájú hal, amely 1,5 méter hosszúra is megnőhet, állandó ritmusú gyenge kisülésekkel vizsgálja környezetét. Villamos lokátorával 2 mm átmérőjű üvegpálcát is felfedez a vízben. Látásával képtelen lenne erre. S. A. Rommel és J. D. McCleave amerikai kutatók legújabb mérései szerint az angolnák 0,07 mikrovolt feszültségű villamos teret is érzékelnek. Ha egy 4,5 voltos szárazelem két szárát egymástól 1 cmre dugják vízbe, kb. 64 milliószor erősebb villamos tér keletkezik, mint amit az angolna még felfog. Ennek alapján a kutatók feltételezik, hogy az angolnák a földmágnesség keltette hihetetlenül gyenge elektromosságot is figyelemmel kísérik a tengeráramlatokban, s talán ezt a mérést is felhasználják tájékozódásukhoz több ezer kilométeres vándorútjukon.

Ha a fotóamatőr jó fényképet akar készíteni, fénymérővel állapítja meg a tájról visszaverődő fényerőt. A hüllők ilyen beépített fénymérőt hordanak a homlokuk közepén. A biológusok fejtetői szemnek nevezik, mert felülről vékony, áttetsző hártya borítja, és felépítése messzemenően megegyezik a szemével. A legújabb vizsgálatok szerint ez az élő „műszer" a megvilágítás erősségéről tájékoztatja a napfénykedvelő hüllőket. Ha erősödik a környezet megvilágítása, a hüllő is élénkebbé válik. Más vizsgálatok szerint ez az érzékszerv az egész napi besugárzást összegezi, és figyelmeztető jelzést ad az állatnak, hogy mennyi ideig tartóz-



A fénysugarak voltaképpen elektromágneses hullámok. Így bizonyos éjjelilepke-fajok csápján parányi érzőszálak alakultak ki, amelyek villamos úton fogják fel a fényt. Ezek az érzőszálak 150–200 tagú csoportokat alkotva a csápon, a rovar „vészkapcsolójaként" működnek

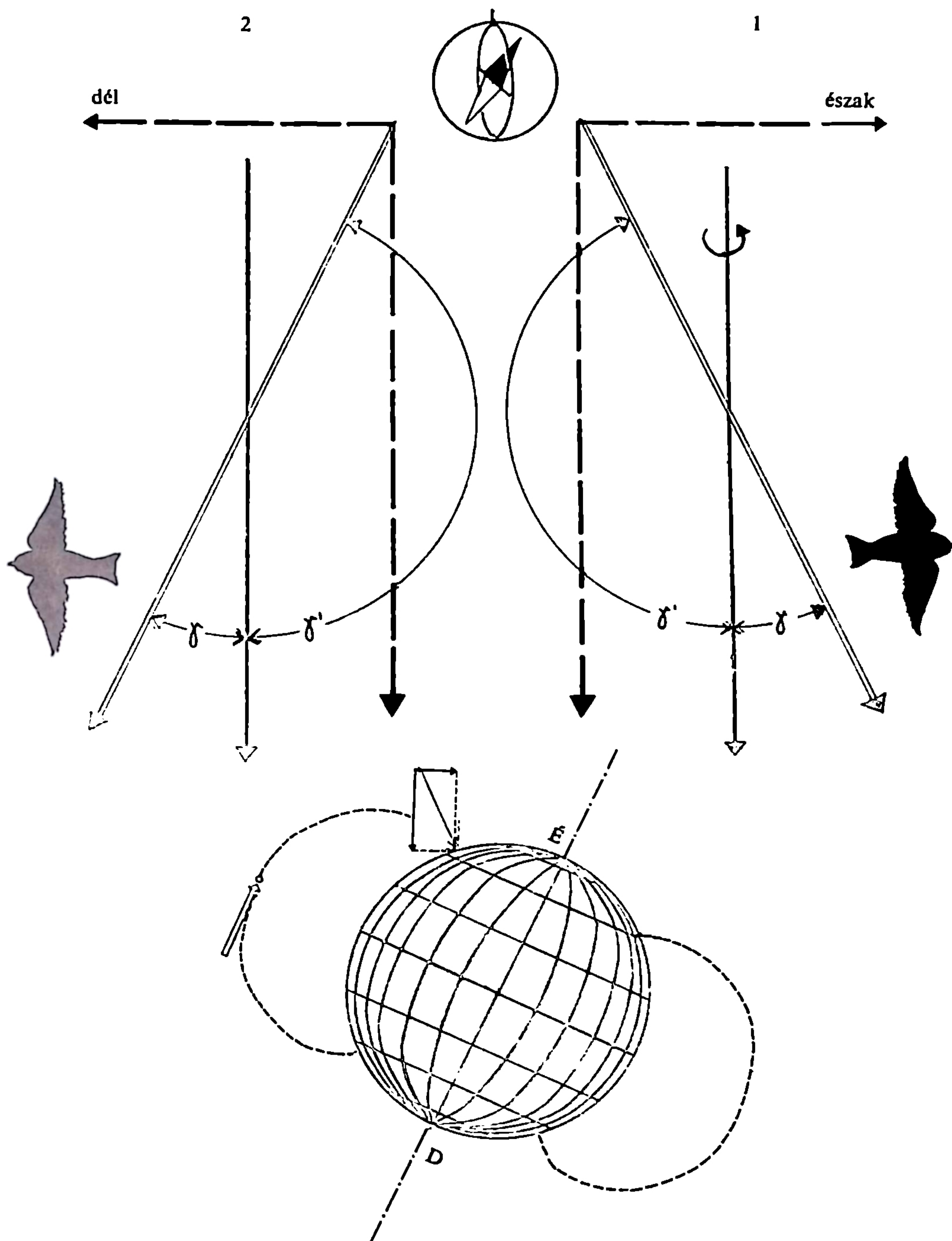
kodhat még a napon a kiszáradás veszélye nélkül.

A pávaszemes szövők családjába tartozó éjjeli lepkék összetett szemük mellett egészen meglepő szerkezettel is érzékelik a fényt. Az elektrotechnikában bizonyos rezgésszámú elektromágneses hullámok vételére üregrezonátorokat használnak. A cső belső átmérőjétől és falvastagságától függ, mekkora hullámhosszúságú elektromágneses sugarakat ejt csapdába. Ugyanilyen üregrezonátort használnak az éjjeli lepkék is. Csápjukon 0,07 mm hosszú és 0,007 mm alapátmérőjű kúp alakú üreges szervecskék találhatók. Olyan parányi ez a szerkezet, hogy a rendkívül rövid hullámhosszúságú fénysugarakat hasonló fizikai elven fogja fel. P. S. Callahan számításai szerint nemcsak geometriai méretei, hanem optikai, fizikai és villamos tulajdonságai is tökéletesen egyeznek azokkal az elméleti értékekkel, amelyek matematikailag meghatározhatók egy ilyen fényérzékelő üregrezonátor felépítéséhez. Az éjjeli rovar számára ez a vészjelző készülék. Ha a sötétben fény villan fel a közelében, azonnal megmerevedik, bármit is csinált éppen.

Iránytűvel a Föld körül

Milyen pontossággal tájékozódnak a Napot figyelő állatok? Erre csak két példát nézzünk. Az összetett szemű méhek repülés közben mindig ugyanazzal az elemi szemmel figyelik a Napot, ahogyan a hajóskapitánynak is csak arra kell ügyelnie, hogy a hajó haladási iránya állandó szöget zárjon be az iránytűvel. Ha a Nap parányi világító pontja egyik ommatidiumról a másikra csúszik, nyilván csak ekkor helyesbíti repülési irányát a méh. Két elemi szem körülbelül egyfokos szöget zár be, és I. W. Buddenbrock német kutató mérései igazolták az elméletet: a méhek valóban egyfokos szögpontossággal repülnek céljuk felé. Egyre több bizonyíték van arra is, hogy a lazacok és más vándorló halak szintén a Nap helyzete alapján is tájékozódnak a nyílt óceánon. De milyen pontossággal? Ha nyílegyenesen úsznának vissza szülőhelyükre, körülbelül 600 óra alatt kellene hazaérniük S. B. Saila és R. A. Shappy amerikai kutatók számításai szerint. Ezzel szemben az utazás sokkal tovább tart. A kutatók ezért feltételezik, hogy a lazacok csak 40 km-enként tájékozódnak nagyjából. Ezeken a szakaszokon belül a halak bizonytalanul úsznak valamilyen irányban. Mégis hazatalálnak? Igen. Elektronikus számítógéppel modellezték a halak vándorlását, és száz elindított „elméleti lazac" közül hatvanan még ezzel a bizonytalan bolyongással is visszaértek az ismerős folyótorkolathoz, ahonnan már a hazai patak illata vezette őket tovább. A becslések szerint a természetben rosszabb a visszatérési arány: a holtfáradt lazacoknak mindössze 10–20 százaléka ér a költőhelyre; az elmélet tehát közel lehet a valósághoz.

A földmágnesség érzékeléséhez fűződik az ember egyik legősibb találmánya: az iránytű. Ez mindig az észak–déli irányt jelzi. De hogy a földgolyó melyik pontján állunk, ezt csak olyan iránytűvel mondhatjuk meg, amely függőleges irányban is kitérhet. Ha például az iránytű 63 fokot zár be a vízszintessel, akkor kb. Budapest szélességi körén állunk. W. Wiltschko frankfurti kutató a vörösbegyek tájékozódását vizsgálva arra a következtetésre jutott, hogy a madarak nemcsak érzékelik a földmágnességet, hanem ennek alapján tájékozódnak költözésük idején. De belső iránytűjük a „lehajlást" érzékeli! Így könnyen megállapíthatják, milyen földrajzi szélességen re-



A szokásos iránytű csak vízszintesen mutatja a földmágneses erővonalak irányát, pedig ezek a valóságban függőlegesen is lehajlanak. A kísérletek szerint a vörösbegy valószínűleg ennek a ferde irányú mágneses térnek az alapján tájékozódik. Ha mesterségesen megfordítják körülötte a mágneses mezőt, ellenkező irányban repül. Amikor a költöző madarak nem érzik az erőtér lehajlását, tudhatják, hogy éppen az Egyenlítő felett szállnak

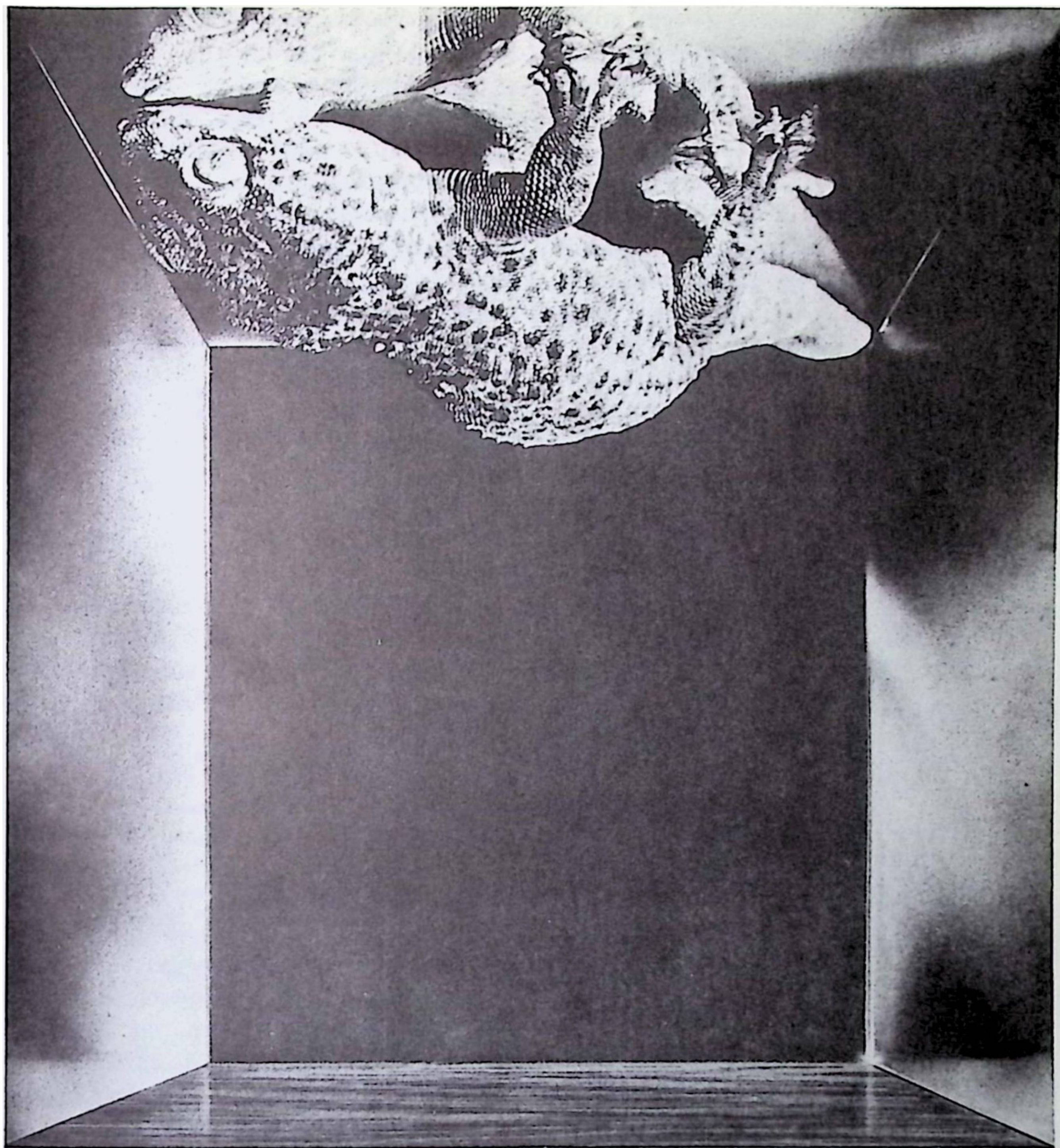
pülnek. Amikor például a vörösbegyek melegebb éghajlatra költöznek ősszel, ahogy dél felé szállnak, saját súlypontjuk függőleges „húzásához" képest „belső iránytűjük" egyre nagyobb szögben tér ki. Az Egyenlítő átrepülésekor a két „belső egyenes" már derékszöget zár be. Amikor mesterségesen keltett mágneses térben tartották az acélkamrába zárt állatokat, majd egy függőleges tengely körül 180 fokkal megfordították a mágneses erővonalakat, a madarak ellenkező irányban indultak útnak.

A galambok is a földmágnesség alapján tájékozódnak. Ezt R. Green amerikai kutató kísérletei igazolták 1972-ben. Apró elektromágnest szerelt a madarak fejére, és a galambdúctól 80 km-re szabadon engedte őket. Ha a parányi elektromágnes északi pólusa a fejtető felé mutatott, a madarak helyes irányban indultak haza. Ha azonban megcserélte a tekercsen az áramforrás sarkait, és így az északi pólus a farok felé mutatott, az eleresztett galambok homlokegyenest ellenkező irányban repültek. Ma már tehát bizonyos, hogy a madarak érzékelik a földmágnességet, csak arról nem tudunk még eleget, hogyan fogják fel, és hogyan tájékozódnak segítségével.

Fejjel lefelé, fejjel előre

Furcsa látvány lenne, ha egy irodában az emberek a mennyezeten járnának. Az állatvilágban ez meglehetősen hétköznapi dolog. Fejjel lefelé járnak-kelnek például a legyek a lábuk végén levő parányi, hólyagszerű tapadókorongok segítségével. Ez a szívószerkezet azon az elven működik, ahogy a játék puskák lövedéke megtapad a falon. A homorú gumikorong alól kiszökik a levegő, így a külső légnyomás odaszorítja a falhoz a korongot. A pehelykönnyű legyek esetében ez a módszer még elfogadható. De mi a titka a Délkelet-Ázsiában mindenfelé jól ismert gekkónak? Ezek a tokee vagy pötytyös gyíkok rendjébe tartozó állatok sokkal nagyobb testsúlyukkal is könnyedén vadásznak rovarokra egy szoba mennyezetén. Még a tükörsima üvegen is megkapaszkodnak fejjel lefelé! A legújabb vizsgálatok szerint a gekko szintén piciny tapadókorongokat használ. Lábujjain keresztirányú sörtesorok találhatók. A 0,09 mm hosszú és 0,01 mm átmérőjű szálak puha „kefepárnát" alkotnak. De minden szál végén még parányibb, 200 milliomod milliméter átmérőjű mélyedések vannak, amelyek a legsimább felületre is rátapadnak. Ilyen szerkezetet még nem tudott készíteni korunk technikája. Jelenleg csak mágnescipőkkel kísérleteznek, s nem lehetetlen, hogy ez a természetből ellesthető szabadalom vezetne a végső megoldáshoz.

Élő fúróberendezések is szép számmal akadnak az állatvilágban. Charles Babbage angol tudós, a számológép feltalálója már a múlt században különös jelenségre figyelt fel. Nápoly közelében, Pozzuoli hajdani márványoszlopain sima héjú kagylók furataira bukkant. Ebből következtettek később a geológusok arra, hogy ezt a vidéket valamikor tenger borította. A különleges fúrókagylók ugyanis a tengervízben élnek, és részint mechanikus, részint vegyi módszerekkel dolgoznak. A sziklafúró kagyló például eddig ismeretlen savval oldja fel maga előtt a sziklát, majd parányi fonalakat eresztve a járatba, ezzel az ún. kagylóselyemmel mozgatja teknős testét oda-vissza: így távolítja el a péppé vált felesleges sziklaanyagot. Az ásógyíkfélék családjában is akadnak ilyen fúrómesterek. Nincsenek lábaik, de csontvázukon harmonikaszerűen tudják mozgatni bőrüket, járataik-



Még tükörsima üveglapon is zavartalanul sétál fejjel lefelé a délkelet-ázsiai gekko-gyík. A vizsgálatok szerint lábujjain olyan sörték sorakoznak, amelyek parányi szívókorongos végükkel tapadnak a szilárd felületekre. Lehet, hogy a mérnökök is tudnának hasonló „öntapadó" anyagot tervezni, ha sikerülne gyártani ilyen finom szálakat

ban tehát könnyen másznak előre-hátra. Ha új járat készül, egy-egy nekifeszüléssel orsó alakú fejüket a talajba fúrva haladnak előre, majd egész testüket orsósan körbecsavarva tágítják ki a parányi alagutat.

A műanyagból készült textilszálak korában hétköznapi találmánynak számít a fonórózsa. Ennek apró lyukain keresztül több száz elemi szálat alkotva folyik le a műanyag, majd a szálak egymáshoz tapadnak, és a levegőben megszilárdulva alkotják a valódi fonalat. Ezt a gyártástechnológiát már sokkal régebben kitalálták a pókok. E. Kullmann, a bonni egyetem professzora térhatású elektronmikroszkóppal derítette fel a fonálszűrős pókok alrendjébe tartozók különös fonószerkezetét. A vizsgálatokból kitűnt, hogy a fonómirigyet borító fonólemezből parányi „fúvókákon" át áramlik a szabadba a mirigy terméke, és a levegőn megszilárdulva válik rugalmas, szilárd szállá. Minden fúvókából 10–20 milliomod milliméter vastag elemi szál fut ki. Ha mind a két fonólemez működik, összesen 16–40 ezer elemi szálból készít fonalat a pók. Ezt a finom szerkezetet meg sem közelítik a gépi fonórózsák. S ami a legérdekesebb: minden elemi szál fúvókája teleszkópos szerkezetű. A fonás befejeztével a pók úgy csukja össze őket, mint fotós a fényképezőgép-állvány lábait.



Éppen újabb adag levegőt hoz a búvárpók a víz alatti „léghajóba", amely állandó lakhelyéül szolgál. Ha keresztbe rakott lábait szétnyitja, a testén hozott légbuborék felszáll, és elpattan a „búvárharang" lefelé néző nyílásában

A vízbe merészkedő ember először a búvárharangot találta fel. Ha egy ilyen, alul nyitott tartályt borítanak valakinek a fejére, a vízben nem szökik el a levegő a „harangból", hanem a belső kupolában összegyűlik, a vízbe merülő nyugodtan lélegezhet. Ugyanezzel a módszerrel készít magának állandó lakhelyet a búvárpók. Finom fonalával a vízi növények között olyasféle hálót készít, mint amilyen régen a léghajók körül volt. Ezután a vízfelszínről levegőbuborékokat hord a háló alá. A feltöltés nyomán kialakul a víz alatti búvárharang, ebben tölti el szinte egész életét a 17–18 mm hosszú pók.

Egyre több irodában, gyárban szerelnek fel légkondicionáló berendezéseket, amelyek télen-nyáron kellemes hőmérsékletet teremtenek a szobákban. A természetben is találhatók „légtechnikusok", akik tökéletesen megoldották a légszabályozás nehéz problémáját. A Macrotermes natalensis nevű afrikai termeszek több mint kétmillióan élnek egy közepes nagyságú bolyban. Érthető, hogy szükségük van a légkondicionálásra. A termeszvár 40–50 cm vastag, cementszi-

lárd falát apró légjáratok sora szövi át. A levegő az alsó meleg termekből ezekben száll felfelé, majd a vár tetején vékony „hűtőbordákon" adja le hő- és széndioxid-tartalmát a szabadban. Ilyen módon 6 fokos hőmérséklet-különbséget teremtenek a termeszek a bolyban a „pince" és a „padlás" között. A levegő másodpercenként 2 mm-es sebességgel mozog a járatokban, ami olyan enyhe légmozgásnak felel meg, hogy egyetlen termesz sem panaszkodhat huzatra.

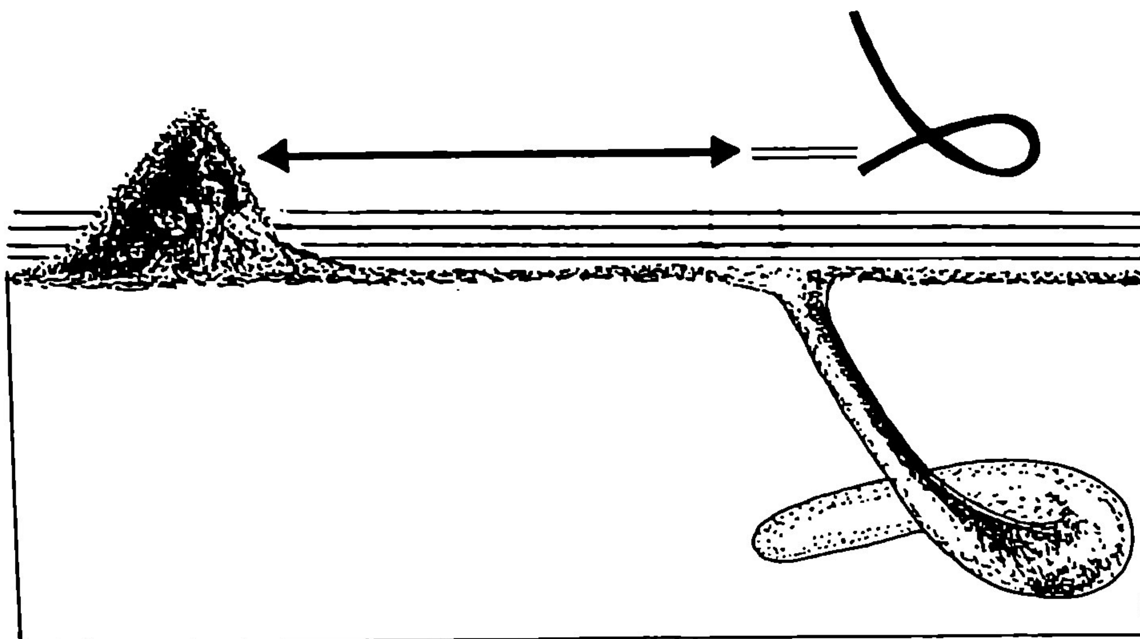
Ha beáll a tél, könnyen megfagy a gépkocsik motorjának hűtővize. Ilyenkor a gondos vezető fagyáspontcsökkentő anyagot tesz a vízbe, hogy elkerülje a veszélyt. A hangyákat is hasonló veszély fenyegeti a hideg beálltával, de szervezetük egyszerűen gondoskodik a védekezésről: glicerint juttat a testnedvekbe. Most már sokkal alacsonyabb hőmérsékletet is elviselnek az apró rovarok a megdermedés veszélye nélkül. A százlábúak viszont a támadók ellen használnak különös vegyületet. Ez nem más, mint a mérgező cián-hidrogén. Az Apheloria corrugata százlábú minden testszelvényében két parányi lombik található: a nagyobbik, a belső kamra mindössze 0,7 mm hosszú, és 0,001 köbmilliméter benzaldehidet tartalmaz. Ha támadó közeledik valamelyik oldalról, a legközelebbi testszelvények kamráiban felnyílnak a szelepek, és a folyadék a szomszédos „lombikokba" szivárog. Az itteni vegyületek egy-egy parányi cseppje vegyi reakcióba lép vele, és cián-hidrogén jön létre. Az oldalsó szelepeken át kiáramló mérges gáz húsz percig távol tartja a tolakodó hangyákat.

Számtalan történet szól a hajótöröttek megpróbáltatásairól, akiket a szomjúság kínoz a hullámokon hányódó csónakban. De miért? Ott a rengeteg víz, mégis szomjan halnak? Igen, mert a tengervíz nagyjából 3 százalék sót tartalmaz, az ember vére viszont csak 1 százalékot tűr el. Ha sok só kerül a vérbe, egyre több vizet kell inni rá, csak így növekedhet a szervezetben a hígítási arány – ebbe bele lehet halni. A tengeri madarak mégis isszák ezt a vizet. Pedig az ő vérükben sem lehet nagyobb arányban a só, mint az emberében. Hogyan választják ki a tengervízből a felesleges sót?

K. Schmidt-Nielsen norvég származású kutató vizsgálatai alapján kiderült, hogy a tengeri madarak koponyájában a szem fölött különleges mirigyek találhatók. Ez a különös szűrőrendszer az ellenáramlás elve alapján parányi csatornákban választja ki a sót a vérből. A sűrű sós vizet végül az orrnyílásain fújja ki a madár. Egy kísérlet során 134 cm³ tengervizet itattak meg egy sirállyal, és semmi baja sem lett. Három óra múlva már kiválasztotta szervezete a sót. Ez olyan mennyiség volt, mintha egy embernek 9 liter tengervizet kellett volna meginnia

Kísérleti matematika

A törzsfejlődés évmilliói során seregnyi matematikai feladat megoldását kísérletezték ki az állatok. A legismertebb példa a méhek lépsejtjeinek szerkezete. A hatszög alakú „bölcsők" már eleve a tökéletesség mintaképei, mert ezekhez a hasábokhoz kell a legkevesebb anyagot felhasználni a legnagyobb belső térfogat kialakulásához. Ezt az alapelvet ma már az építészek is alkalmazzák. De hogyan kell lezárni a hatszög alakú hasábot, hogy a legkevesebb viasszal a legnagyobb térfogatot fedje be a tető? A feladatot a méhek igen érdekesen oldották meg: három rombuszlapot „hegesztenek" egymáshoz a lépsejt végében. Mindegyik lapnak a hasáb oldalaival bezárt szöge éppen 120 fok. Amikor a matematikusok utánaszá-



A lovaglórák föld alatti járatának hossza éppen akkora, mint a homokból épített „piramis" távolsága a bejárattól. Persze a sok egyforma kúp között a ráknak azt is tudnia kell, milyen irányban induljon el otthonról. Máskülönben egy kör mentén bolyonghat, keresgélve építményét

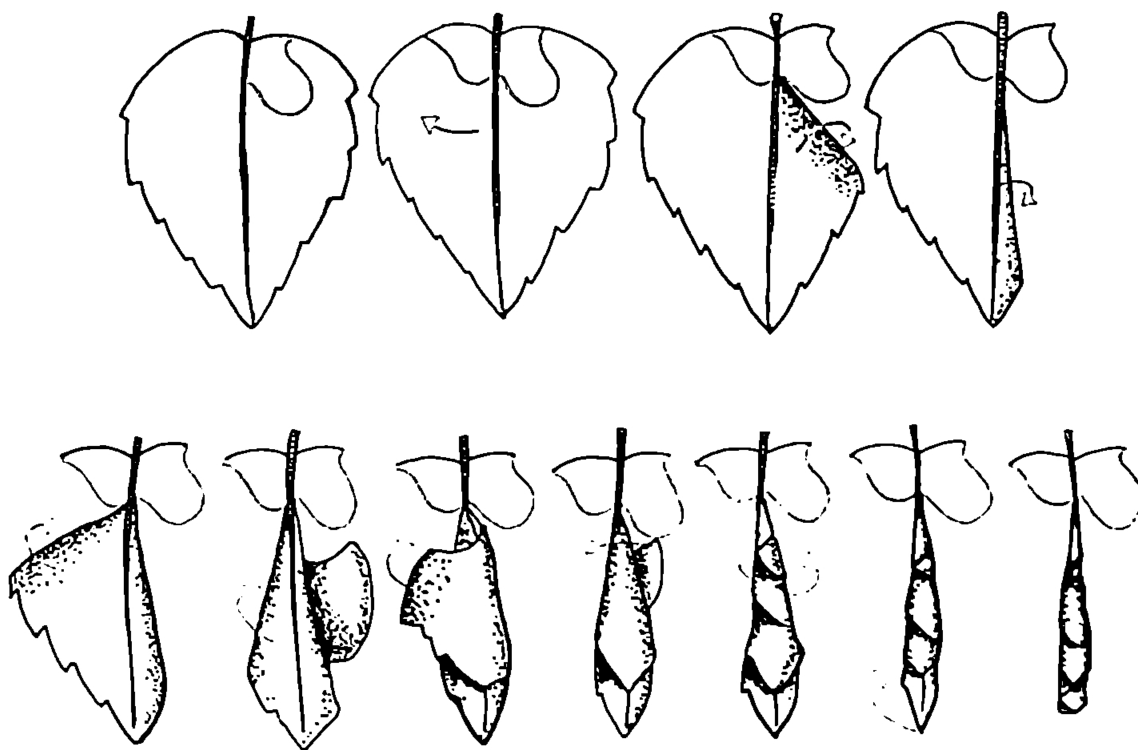


A lovaglórák apró matematikai fogással találja meg saját homokpiramisát a tengerparton. Lépéseinek „számlálását" talán az is megkönnyíti, hogy se nem előre, se nem hátrafelé mászik, hanem oldalazva jár

moltak ennek az úgynevezett maximum-minimum feladatnak, kitűnt, hogy a méhek tökéletesen „számoltak".

A Vörös-tenger parti homokjában arasznyi magasságú halmokat pillanthat meg a turista. Itt tanyáznak a lovagló-rákok, amelyek úgy csalogatják föld alá fúrt otthonukba a nőstényeket, hogy egy-egy ilyen halom „építészeti remekével" adnak hírt magukról. S honnan tudják a rákok, melyik halom kié? Ebben van segítségükre a matematika. Mindegyik olyan távol építi az apró várat lakosztályának bejáratától, mint amilyen hosszú föld alatti otthonának csavarvonalú járata. Hogy tudják lemérni ezt az állatok, ma is rejtély, de elképzelhető, hogy a megtett út hosszát érzékelik valamilyen módon.

A lekerekített kúp formájú trópusi kúpcsigák különös mintázatukkal ejtik ámulatba a múzeumi látogatót. Ahány csiga, annyiféle a mintája. De az egyéni jelzéseken kívül mindegyikben közös a szerkesztési mód: az egymásba nyúló háromszögek sora, amelyek sötét színnel szegélyezve rajzolódnak ki élesen. Hogyan alakult ki ez a mintázat? – tette fel a kérdést két angol kutató. Megállapították, hogy ha két festékvonal találkozik, egyik sem halad tovább. A csiga házának növekedésekor egy bizonyos előfestékanyag rakódik az élekre, s csak akkor alakul át látható festékké, ha sűrűsége a csiga növekedése során elér egy bizonyos értéket. Ezt a „műveletet" a véletlen tényezők figyelembevételével elektronikus számítógépbe táplálták a kutatók, s a komputer hasonló mintázatot rajzolt ki, mint amilyen a kúpcsigák oldalán található. A csiga tehát nem szól bele a mintakészítésbe. A „matematika" itt csak bizonyos tényezők együttműködésének, kölcsönhatásának eredménye; ebben az



Két mesteri vágás – és a többi már szinte magától megy. A nyírfalevélsodró bogár évmilliók során kísérletezte ki azt a két különös alakú vágási görbét, amely a levél könnyű „csomagolási" módját teszi lehetővé

esetben már a természet kibernetikájának lehetünk szemtanúi.

S végül jöjjön egy valódi kis matematikus, a nyírfalevélsodró bogár. Ez a fél centiméter hosszú, fényes fekete rovar a nyírfa leveleiből sodor tölcsér alakú bölcsőt petéi számára. Először S alakban bemetszi a levél egyik oldalát a középső főérig, majd a másik oldalon is hasonló alakban vágja el a levelet. Ezután az egyik levélfelet felsodorja, majd rácsavarja a másik részt is. Tökéletes tölcsér alakul ki. A vágóvonal megszerkesztése nem egyszerű feladat, bárki megpróbálhatja. Csak Huygens, a XVII. század holland tudósa számította ki sikerrel a görbék egyenletét, viszont az ormányos bogarak már évmilliók óta ismerik a megoldást. Igaz, volt idejük a „kísérletezésre". Hogy hány ilyen ötlet, találmány rejtőzik még az állatvilágban? Ki tudja? Aki nyitott szemmel jár a természetben, biztos, hogy sok hasonlóra talál, s ezzel saját maga is a felfedezők sorába léphet.

TÁRGYMUTATÓ

Newton almája

messzire gurult azóta, hogy a legenda szerint egy fáról lepottyanva rádöbbentette a nagy angol tudóst a tömegvonzás törvényére; a fizika csodálatos kertjében a gravitáció elméletének óriás fája bontakozott ki belőle. De időközben e zöld rengetegben elburjánzottak a különféle mértékegységek is. A szakemberek régóta igyekeznek kigyomlálni közülük a fölöslegeseket, így került sor arra, hogy 1980-ban hazánkban is bevezették a nemzetközi mértékegység-rendszert (Système International). Ennek tükrében a könyvünkben szereplő alapegységek és származtatott egységeik nagyrészt nem változtak.

Néhány mértékegység, amellyel olvasás közben találkozunk, nem tartozik ugyan az SI-rendszerbe, de változatlanul használható: a Celsius-fok, a dkg rövidítés, a fok (síkszög), a mikron, a tonna.

Két mértékegység, a lóerő és a kalória viszont a könyv megírása óta a nem használható egységek listájára került.

A lóerő a teljesítmény egysége volt, és James Watt, a XVIII. század híres angol feltalálója bizonyára boldog lenne, ha tudná, hogy ma már csak az ő nevével jelölhető ez a fizikai mennyiség:

1 lóerő = 735,499 watt = 735 W.

Fölösleges beszélni többé a kalóriáról is, hiszen a hőenergia voltaképpen olyan munka, amellyel gépeket lehet hajtani. Erről tehát a következőket kell tudni:

1 kg tömegű test súlya = 10 newton,

1 newton · méter = 1 joule.

S most már csak a régi kalória és az új munka-mértékegység közötti kapcsolatot kell ismernünk:

1 kalória = 4,1868 joule.

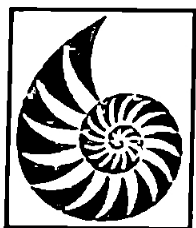
Isaac Newton a XVII. században talán zavartan forgatta volna azt a fél kilogramm tömegű megtermett almát, ha tudta volna, hogy ezt mi már 5 newton súlyúnak mondjuk. De változnak az idők, és változnak a mértékegységek. S az SI bevezetésével a fizikai mértékegységek remélhetőleg valóban áttekinthető és világos rendszerbe álltak össze.

Akit érdekel,

még sok mindent megtudhat az állatvilág eleven találmányairól azokból a cikkekből és könyvekből, amelyek adatainak egy része ebben a könyvben is szerepel. De túlságosan hosszú jegyzék kerekedne ki a forrásul szolgáló cikkekből, ezért csak azokat a legfontosabb könyveket soroljuk fel, amelyek jórészt nálunk is hozzáférhetők. Némelyik legalább olyan lebilincselő, mint egy érdekes regény. És nyelvgyakorlásnak sem rossz...

Ákos Károly, dr.: Érzékeink világa (Budapest, 1960.)
Burton, M.: Animals senses (London, 1961.)
Frisch, K.: Bees, their vision, chemical sense and language (London, 1964.)
Frisch, K.: The dancing bees (New York, 1953.)
Gray, James: How animals move? (London, 1962.)
Griffin, D. R.: Hangok és visszhangok (Budapest, 1962.)
Hertel, H.: Structure, form, movement (New York, 1966.)
Lilly, J. C.: Man and dolphin (New York, 1961.)
Sensory Receptors (Cold Spring Harbor, Vol. XXX., 1965.)

АЙРАПЕТЬЯНЦ, Э. Ш. и КОНСТАНТИНОВ, А. И.: Эхолокация в природе („Наука" М. 1970.)
АЛЕКСАНДЕР, Р.: Биомеханика („Мир" М. 1970.)
ГААЗЕ-РАПОПОРТ, М. Г. (отв. ред.): Вопросы бионики („Наука" М. 1967.)
ГААЗЕ-РАПОПОРТ, М. Г. и КОКШАЙСКИЙ, Н. В. (отв. ред.): Проблемы бионики („Наука" М. 1973.)
ЖЕРАРДЕН, П.: Бионика („Мир" М. 1971.)
ИЛЬИЧЕВ, В. Д.: Биоакустика птиц („Изд-во Московского Университета" 1972.)
ЛИТИНЕЦКИЙ, И. В.: На пути к бионике („Просвещение" М. 1972.)
МАЗОХИН-ПОРШНЯКОВ, Г. А.: Зрение насекомых („Наука" М. 1965.)
СОЧИВКО, В. П.: Очерки бионики моря („Судостроение" Л. 1968.)
ТОМИЛИН, А. Г.: В мире китов и дельфинов („Знание" М. 1974.)



Tizenhárom éven felülieknek

HU ISSN 0209-5211

ISBN 963 11 2975 6

Móra Ferenc Ifjúsági Könyvkiadó, Budapest
Felelős kiadó: Szilvásy György igazgató
Kossuth Nyomda, (81 1167), Budapest, 1982
Felelős vezető: Bede István vezérigazgató
Szedte a Nyomdaipari Fényszedő Üzem (829357/01)
Felelős szerkesztő: D. Nagy Éva
Szakmailag ellenőrizte: Dr. Stohl Gábor
Műszaki vezető: Haás Pál. Képszerkesztő: Diósi Katalin
Műszaki szerkesztő: Deák Ferencné
40 000 példány. Terjedelem: 23,8 (A 5) ív. IF 4499